

**UNIVERSIDADE DE LISBOA**

**Instituto de Geografia e Ordenamento do Território**



# **Análise hidro-meteorológica de cheias na região Norte de Portugal**

**Mónica Sofia Moreira dos Santos**

Orientadores: Prof. Doutor Marcelo Henrique Carapito Martinho Fragoso

Prof. Doutor Carlos Valdir de Meneses Bateira

Tese especialmente elaborada para obtenção do grau de Doutor em Geografia, na  
especialidade de Geografia Física.

**2015**



**UNIVERSIDADE DE LISBOA**

**Instituto de Geografia e Ordenamento do Território**



# **Análise hidro-meteorológica de cheias na região Norte de Portugal**

**Mónica Sofia Moreira dos Santos**

Orientadores: Prof. Doutor Marcelo Henrique Carapito Martinho Fragoso

Prof. Doutor Carlos Valdir de Meneses Bateira

Tese especialmente elaborada para obtenção do grau de Doutor em Geografia, na  
especialidade de Geografia Física.

Júri:

Presidente: Doutora Maria Lucinda Cruz dos Santos Fonseca

Vogais: Doutor Alexandre Manuel de Oliveira Soares Tavares

Doutor João Carlos Andrade dos Santos

Doutor José Eduardo Silvério Ventura

Doutor Eusébio Joaquim Marques dos Reis

Doutor Marcelo Henrique Carapito Martinho Fragoso

Esta dissertação integra-se no âmbito da investigação desenvolvida no projeto *DISASTER - Desastres naturais de origem hidro-geomorfológica em Portugal: base de dados SIG para apoio à decisão no ordenamento do território e planeamento de emergência* (PTDC/CS-GEO/103231/2008) e foi financiada pela Fundação para a Ciência e Tecnologia através da Bolsa de Doutoramento SFRH/BD/70239/2010.

**2015**





## Agradecimentos

O trabalho aqui apresentado não seria possível sem o contributo de várias pessoas e instituições e por isso, de uma forma geral, agradeço desde já a todos.

Ao Professor Marcelo Fragoso, meu orientador, pela amizade, disponibilidade, paciência, incentivo e sentido crítico que em muito valorizaram esta dissertação.

Ao Professor Carlos Bateira, meu coorientador, por todo o apoio que concedeu durante o período de realização da tese, bem como as sugestões e correções na revisão final da mesma.

À Fundação para a Ciência e a Tecnologia pelo apoio financeiro à concretização deste trabalho.

Ao Projeto *DISASTER - Desastres naturais de origem hidro-geomorfológica em Portugal: base de dados SIG para apoio à decisão no ordenamento do território e planeamento de emergência* (PTDC/CS-GEO/103231/2008) que proporcionou a recolha de dados, elaboração da base de dados e presença em congressos na divulgação dos resultados.

Ao Centro de Estudo Geográficos, unidade que acolheu a investigação realizada, bem como a toda a equipa do *Riskam*.

À Biblioteca Pública Municipal do Porto, em especial aos funcionários da hemeroteca pela ajuda prestada na consulta de jornais.

Aos professores Laura Soares, Alberto Gomes e José Luís Zêzere pelas palavras de incentivo que recebi ao longo de todo o trabalho.

A toda a equipa do projeto *DISASTER*, em especial à Susana Pereira, Carlos Hermenegildo, Ivânia Quaresma e Pedro Santos, na troca de conhecimentos e experiências na constituição da base de dados *DISASTER*.

Ao professor Eusébio Reis, por toda a ajuda prestada e partilha de metodologia na elaboração da cartografia de suscetibilidade a cheias nas bacias em estudo.

Ao professor João Santos do CITAB - Centro de Investigação e Tecnologias Agroambientais e Biológicas, da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro pela disponibilização da base de dados dos tipos de tempo entre 1871 e 2012, bem como por todos os comentários e sugestões no artigo submetido.

Ao meu colega Luciano Martins pela amizade e partilha de conhecimentos ao longo de todo o trabalho e à minha colega Fátima Matos pela ajuda prestada na pesquisa de cheias, não *DISASTER*, nos jornais.

À minha família, aos meus pais e ao Manel pelo incentivo na concretização desta etapa e à Matilde que veio iluminar e alegrar o último ano de concretização deste trabalho.

## Índice Geral

Índice de Figuras .....	8
Índice de Quadros .....	22
Resumo.....	28
Abstract .....	30
Acrónimos e Abreviaturas .....	32
Introdução .....	34
Parte I – Enquadramento teórico, definição de áreas de estudo e recolha de informação .....	37
Capítulo 1. Estado da arte .....	37
1.1. As cheias e as inundações: definições, tipos e características.....	37
1.2. Aspetos gerais do clima e da hidrologia na região Norte.....	41
1.3. Condições atmosféricas na origem de cheias na região Norte.....	48
1.4. Síntese do conhecimento atual sobre as cheias em Portugal: o caso das bacias da região Norte .....	49
1.5. Conclusão.....	54
Capítulo 2. Constituição e descrição da base de dados de cheias na região Norte .....	55
2.1. Modelação conceptual e física da base de dados.....	56
2.2. Recolha, validação e organização das ocorrências .....	60
2.3. Análise dos resultados da BDC-N.....	63
2.3.1. Principais eventos de cheias na região Norte .....	63
2.3.2. Ocorrências de cheias na região Norte.....	69
2.3.3. Distribuição espacial das ocorrências.....	71
2.3.4. Distribuição temporal das ocorrências .....	74
2.3.5. Tipos de cheias na região Norte .....	78
2.3.6. Principais fatores desencadeantes.....	80
2.3.7. Análise dos principais danos resultantes de cheias na região Norte .....	81
2.3.8. Risco Social.....	85
2.4. Relação das ocorrências de cheias com os tipos de tempo de 1871 a 2011 .....	86
2.4.1. Tipos de circulação atmosférica .....	87

---

2.4.2.	Relação entre tipos de circulação atmosférica e as cheias .....	90
2.5.	Conclusão e seleção das bacias hidrográficas em estudo .....	95
Capítulo 3.	Caracterização das bacias hidrográficas em estudo .....	99
3.1.	Recolha de Informação .....	99
3.2.	Fatores condicionantes das cheias .....	99
3.2.1.	Fatores permanentes .....	100
3.2.1.1.	Características geométricas .....	100
3.2.1.2.	Sistema de Drenagem.....	103
3.2.1.3.	Relevo .....	107
3.2.1.4.	Geologia e Solos .....	115
3.3.	Fatores Variáveis .....	120
3.3.1.	Uso e Ocupação do Solo .....	120
3.4.	Tempo de Concentração .....	126
3.5.	Número de escoamento segundo o SCS .....	127
3.6.	Suscetibilidade a cheias .....	131
3.7.	Conclusão .....	139
Capítulo 4.	Aquisição e validação da informação pluviométrica e hidrométrica .....	141
4.1.	Aquisição e estruturação da informação pluviométrica .....	141
4.2.	Testes de homogeneidade e consistência da informação pluviométrica.....	147
4.2.1.	Bacia do rio Vez .....	150
4.2.2.	Bacia do rio Este .....	152
4.2.3.	Bacia do rio Corgo .....	153
4.2.4.	Bacia do rio Távora .....	155
4.2.5.	Região Norte .....	157
4.3.	Aquisição e estruturação da informação hidrométrica.....	162
4.4.	Testes de homogeneidade e consistência de dados hidrométricos .....	163
4.5.	Conclusão .....	164
Parte II –	Análise estatística e espacial das precipitações e caracterização dos regimes hidrológicos.....	165

Capítulo 5.	Metodologias de tratamento da informação pluviométrica e hidrométrica ....	165
5.1.	Precipitações anuais e mensais .....	165
5.2.	Precipitação diária e máxima diária.....	167
5.3.	Cálculo do período de retorno .....	172
5.4.	Metodologias de modelação espacial da precipitação .....	175
5.4.1.	Modelação espacial das precipitações .....	175
5.4.2.	Medidas de avaliação dos resultados de diversos modelos de estimação .....	180
5.4.3.	Organização e criação de informação temática em ambiente SIG .....	183
5.4.4.	Avaliação dos métodos de interpolação espacial da precipitação .....	185
5.5.	Regimes hidrológicos .....	190
5.5.1.	Caudais anuais.....	191
5.5.2.	Caudais mensais .....	193
5.5.3.	Caudais diários e máximos anuais.....	193
Capítulo 6.	Precipitações anuais e mensais .....	195
6.1.	Estatística descritiva das precipitações anuais e mensais .....	195
6.1.1.	Região Norte .....	195
6.1.2.	Bacia do rio Vez .....	202
6.1.3.	Bacia do rio Este .....	205
6.1.4.	Bacia do rio Corgo .....	208
6.1.5.	Bacia do rio Távora .....	211
6.2.	Tendências das precipitações anuais e sazonais .....	214
6.2.1.	Região Norte .....	214
6.2.2.	Bacia do rio Vez .....	219
6.2.3.	Bacia do rio Este .....	221
6.2.4.	Bacia do rio Corgo .....	222
6.2.5.	Bacia do rio Távora .....	223
6.3.	Conclusão .....	224
Capítulo 7.	Precipitações diárias e máximas diárias.....	227
7.1.	Região Norte.....	227

---

7.1.1.	Estatística descritiva das PD.....	227
7.1.2.	Concentração diária da precipitação.....	230
7.1.3.	Índices de Extremos.....	231
7.1.4.	Precipitações máximas diárias.....	239
7.1.5.	Período de retorno da precipitação máxima acumulada.....	241
7.2.	Bacia do rio Vez.....	244
7.3.	Bacia do rio Este.....	250
7.4.	Bacia do rio Corgo.....	255
7.5.	Bacia do rio Távora.....	261
7.6.	Conclusão.....	266
Capítulo 8.	Regimes hidrológicos.....	269
8.1.	Bacia do rio Vez.....	269
8.1.1.	Caudais anuais.....	269
8.1.2.	Caudais mensais.....	271
8.1.3.	Caudais diários e máximos anuais.....	274
8.2.	Bacia do rio Este.....	276
8.2.1.	Caudais anuais.....	276
8.2.2.	Caudais mensais.....	279
8.2.3.	Caudais diários e máximos anuais.....	281
8.3.	Bacia do rio Corgo.....	283
8.3.1.	Caudais anuais.....	283
8.3.2.	Caudais mensais.....	285
8.3.3.	Caudais diários e máximos anuais.....	288
8.4.	Bacia do rio Távora.....	289
8.4.1.	Caudais anuais.....	289
8.4.2.	Caudais mensais.....	293
8.4.3.	Caudais diários e máximos anuais.....	295
8.5.	Relação dos caudais com a precipitação.....	298
8.6.	Conclusão.....	299

Parte III – As precipitações desencadeantes de cheias.....	301
Capítulo 9. Caracterização hidro-meteorológica das cheias inventariadas nas bacias em estudo	301
9.1. Bacia do rio Vez .....	302
9.1.1. Caracterização geral das cheias.....	302
9.1.2. Precipitação antecedente e caudal máximo de cheia .....	307
9.1.3. Causas meteorológicas das cheias .....	313
9.2. Bacia do rio Este .....	314
9.2.1. Caracterização geral das cheias.....	314
9.2.2. Precipitação antecedente e caudal máximo de cheia .....	318
9.2.3. Causas meteorológicas das cheias .....	322
9.3. Bacia do rio Corgo.....	323
9.3.1. Caracterização geral das cheias.....	323
9.3.2. Precipitação antecedente e caudal máximo de cheia .....	328
9.3.3. Causas meteorológicas das cheias .....	338
9.4. Bacia do rio Távora .....	340
9.4.1. Caracterização geral das cheias.....	340
9.4.2. Precipitação antecedente e caudal máximo de cheia .....	345
9.4.3. Causas meteorológicas das cheias .....	349
9.5. Conclusão.....	350
Capítulo 10. Limiares de precipitação para o desencadeamento de cheias.....	353
10.1. Determinação de limiares de precipitação desencadeantes de cheias.....	353
10.1.1. Bacia do rio Vez .....	357
10.1.2. Bacia do rio Este .....	364
10.1.3. Bacia do rio Corgo .....	371
10.1.4. Bacia do rio Távora .....	379
10.2. Análise dos eventos com mais expressão nas áreas de estudo.....	386
10.2.1. Bacia do rio Vez .....	386
10.2.2. Bacia do rio Este .....	388

---

10.2.3. Bacia do rio Corgo .....	390
10.2.4. Bacia do rio Távora .....	392
10.3. Conclusão e contributos para um sistema de alerta .....	394
Conclusão geral .....	396
Referências Bibliográficas .....	405

## Índice de Figuras

Índice de Figuras .....	8
Índice de Quadros .....	22
Resumo .....	28
Abstract .....	30
Acrónimos e Abreviaturas.....	32
Introdução .....	34
Parte I – Enquadramento teórico, definição de áreas de estudo e recolha de informação.....	37
Capítulo 1. Estado da arte .....	37
Figura 1.1. Critérios de classificação e tipos de cheia. ....	38
Figura 1.2. Precipitação média anual (1931-1960). ....	42
Figura 1.3. Número de dias no ano com precipitação (1931-1960).....	43
Figura 1.4. Temperatura média diária do ar (°C) (1931-1960). ....	44
Figura 1.5. Principais bacias hidrográficas na região Norte. ....	44
Figura 1.6. Valores médios anuais de escoamento na região Norte. ....	46
Figura 1.7. Áreas de inundação devido às cheias na região Norte. ....	51
Capítulo 2. Constituição e descrição da base de dados de cheias na região Norte.....	55
Figura 2.1. Esquema de Relações da BDC-N em Access (modelo lógico de dados). ....	57
Figura 2.2. Exemplo da dicionarização da tabela das ocorrências de cheias da BDC-N.....	57
Figura 2.3. Menu principal dos formulários da BDC-N.....	58
Figura 2.4. Formulário de ocorrências da BDC-N. ....	58
Figura 2.5. Formulário de danos das ocorrências da BDC-N. ....	59
Figura 2.6. Síntese esquemática da BDC-N. ....	60
Figura 2.7. Esquema metodológico de recolha e armazenamento de dados na base de dados. ....	62
Figura 2.8. Postais Nº1: Ponte D. Luiz e Nº 4: Avenida Diogo Leite, V. N. de Gaya. ....	64
Figura 2.9. Taxa de precipitação (mm/dia) do dia 22-12-1909 às 18h.....	64
Figura 2.10. Cheia do rio Douro de 1962 nas principais ruas da cidade de Peso da Régua. ....	65
Figura 2.11. Taxa de precipitação (mm/dia) do dia 02-01-1962 às 18h.....	65
Figura 2.12. Jornal de Notícias do dia 22 de fevereiro de 1966. ....	66
Figura 2.13. Taxa de precipitação (mm/dia) do dia 20-02-1966 às 3h.....	66
Figura 2.14. Taxa de precipitação (mm/dia) do dia 28-02-1978 às 6h.....	67
Figura 2.15. Taxa de precipitação (mm/dia) do dia 10-02-1979 às 9h.....	67
Figura 2.16. Notícias do Douro do dia 29 de dezembro de 1989. ....	68
Figura 2.17. Taxa de precipitação (mm/dia) do dia 21-12-1989 às 18h.....	68



Figura 2.18. Jornal de Notícias do dia 27 de janeiro de 2001.....	68
Figura 2.19. Taxa de precipitação (mm/dia) do dia 26-01-2001 às 18h.....	69
Figura 2.20. Tipologia das ocorrências registadas na BDC-N.....	69
Figura 2.21. Ocorrências que cumprem ou não os critérios DISASTER.....	69
Figura 2.22. Tipos de georreferenciação das ocorrências de cheia da BDC-N.....	70
Figura 2.23. Ocorrências inventariadas segundo a sua fonte de dados.....	71
Figura 2.24. Distribuição de ocorrências de cheias na região Norte (1865-2011).....	71
Figura 2.25. Densidade de ocorrências por concelho na região Norte (1865-2011). ....	72
Figura 2.26. Distribuição espacial das cheias na região Norte, no período 1865-2011 e a relação com as regiões hidrográficas (A), a média de precipitação anual (B), o número de habitantes por km <sup>2</sup> (2011) (C), e os sistemas morfológicos (D).....	73
Figura 2.27. Distribuição temporal, por ano civil, das ocorrências de cheias na região Norte (1865-2011). ....	75
Figura 2.28. Distribuição temporal, por ano hidrológico, das ocorrências de cheias na região Norte (1865-2011).....	75
Figura 2.29. Distribuição sazonal das ocorrências de cheias na região Norte (1865-2011). ....	76
Figura 2.30. Relação das ocorrências com a precipitação média anual, por anos civis. ....	77
Figura 2.31. Relação das ocorrências com a precipitação média anual, por anos hidrológicos. ....	77
Figura 2.32. Cheias rápidas na região Norte (1865-2011).....	78
Figura 2.33. Cheias progressivas na região Norte (1865-2011).....	79
Figura 2.34. Tipologia das ocorrências por meses do ano (%) (1865-2011).....	79
Figura 2.35. Inundações urbanas na região Norte (1865-2011).....	80
Figura 2.36. Principais fatores desencadeantes das ocorrências de cheias na região Norte. ....	81
Figura 2.37. Danos humanos causados pelas cheias na região Norte: mortos, feridos ou desaparecidos, por concelho (1865-2011).....	82
Figura 2.38. Danos humanos causados pelas cheias na região Norte: desalojados ou evacuados por concelho (1865 a 2011). ....	83
Figura 2.39. Mortos, feridos ou desaparecidos provocados por cheias na região Norte, por ano de ocorrência (1865-2011). ....	84
Figura 2.40. Evacuados ou desalojados provocados por cheias na região Norte, por ano de ocorrência (1865-2011).....	84
Figura 2.41. Localização das ocorrências com mortos originadas por cheias na região Norte (1865-2011). ....	85
Figura 2.42. Curvas F-N (frequência vs. consequências) das ocorrências de cheias e critério de aceitabilidade social do risco. ....	86
Figura 2.43. Compósitos de pressão média ao nível do mar (SLP) para cada CWT: a: AA – anticiclónico dual; b: E – vento leste; c: NW – vento de noroeste; d: C - ciclónico; e: R - crista; f: A – anticiclónico.....	88

Figura 2.44. Frequências mensais de cada CWT, entre 1871 a 2011.....	89
Figura 2.45. Frequências de CWTs registados nos dias de ocorrência de cheias (1) e frequências de CWTs nos dez dias anteriores à ocorrência das cheias. ....	91
Figura 2.46. Número de dias caracterizados por tipo de tempo C, no período de 10 dias antecedentes de cada ocorrência de cheia. ....	92
Figura 2.47. CWTs registadas no dia da ocorrência de cada cheia e (2) CWTs registados nos 10 dias antecedentes a cada ocorrência de cheia em três subperíodos: antes de 1930, 1931-1971 e 1972-2011. ....	93
Figura 2.48. Localização das bacias em estudo. ....	97
Capítulo 3. Caracterização das bacias hidrográficas em estudo .....	99
Figura 3.1. Influência da forma da bacia (A,B,C) no hidrograma de cheia. Q: caudal; t: tempo.....	101
Figura 3.2. Bacias hidrográficas e redes de drenagem. ....	103
Figura 3.3. Influência do relevo da bacia no hidrograma de cheia. ab: perfil longitudinal do curso de água; Q: caudal; t: tempo. ....	107
Figura 3.4. Altitude nas bacias hidrográficas em estudo. ....	112
Figura 3.5. Declive nas bacias hidrográficas em estudo.....	113
Figura 3.6. Perfis longitudinais do rio principal de cada bacia hidrográfica em estudo.....	114
Figura 3.7. Curvas hipsométricas nas bacias hidrográficas em estudo. ....	115
Figura 3.8. Relação entre a permeabilidade do solo e subsolo e os caudais de ponta de cheia. ....	116
Figura 3.9. Geologia com base na carta geológica de Portugal, à escala 1:200000.....	119
Figura 3.10. Densidade populacional (hab/km <sup>2</sup> ) em 1900, 1950, 1981 e 2011.....	122
Figura 3.11. Áreas agrícolas, edificadas e florestais (%) e evolução, entre 1990 e 2006, nas bacias hidrográficas em estudo. ....	123
Figura 3.12. Uso e ocupação do solo em 1990 e 2006.....	124
Figura 3.13. Uso e ocupação do solo em 2006, nas bacias hidrográficas em estudo. ....	125
Figura 3.14. Esquema conceptual para a obtenção do CN para as três condições de AMC.....	129
Figura 3.15. Números de escoamento para as diferentes condições de AMC para as bacias em estudo. ....	130
Figura 3.16. Esquema metodológico de avaliação de suscetibilidade à ocorrência de cheias nas bacias em estudo.....	133
Figura 3.17. Suscetibilidade dos cursos de água para gerar cheias na bacia do rio Vez. ....	134
Figura 3.18. Suscetibilidade dos cursos de água para gerar cheias na bacia do rio Este. ....	135
Figura 3.19. Suscetibilidade dos cursos de água para gerar cheias na bacia do rio Corgo.....	136
Figura 3.20. Suscetibilidade dos cursos de água para gerar cheias na bacia do rio Távora. ....	136
Figura 3.21. Classes de suscetibilidade à ocorrência de cheias e ocorrências registadas na bacia do rio Vez.....	137

Figura 3.22. Classes de suscetibilidade à ocorrência de cheias e ocorrências registadas na bacia do rio Este.....	137
Figura 3.23. Classes de suscetibilidade à ocorrência de cheias e ocorrências registadas na bacia do rio Corgo.....	138
Figura 3.24. Classes de suscetibilidade à ocorrência de cheias e ocorrências registadas na bacia do rio Távora.....	138
Capítulo 4. Aquisição e validação da informação pluviométrica e hidrométrica.....	141
Figura 4.1. Localização das estações selecionadas na bacia do Vez.....	145
Figura 4.2. Localização das estações selecionadas na bacia do Este.....	145
Figura 4.3. Localização das estações selecionadas na bacia do Corgo.....	146
Figura 4.4. Localização das estações selecionadas na bacia do Távora.....	146
Figura 4.5. Localização das estações selecionadas e rejeitadas pelos testes de homogeneidade absoluta e relativa para a bacia do Vez.....	151
Figura 4.6. Localização das estações selecionadas e rejeitadas pelos testes de homogeneidade absoluta e relativa para a bacia do Este.....	153
Figura 4.7. Localização das estações selecionadas e rejeitadas pelos testes de homogeneidade absoluta e relativa para a bacia do rio Corgo.....	155
Figura 4.8. Localização das estações selecionadas e rejeitadas pelos testes de homogeneidade absoluta e relativa para a bacia do Távora.....	157
Figura 4.9. Localização das estações na região Norte.....	159
Figura 4.10. Localização de todas as estações meteorológicas utilizadas.....	160
Figura 4.11. Localização das estações hidrométricas nas bacias em estudo.....	163
Parte II – Análise estatística e espacial das precipitações e caracterização dos regimes hidrológicos....	165
Capítulo 5. Metodologias de tratamento da informação pluviométrica e hidrométrica.....	165
Figura 5.1. Composição por classes (intervalos em mm) dos dias de precipitação registados em Campo de Víboras e Ervedosa.....	169
Figura 5.2. Precipitação média anual na região Norte, segundo vinte e uma técnicas de interpolação espacial.....	189
Capítulo 6. Precipitações anuais e mensais.....	195
Figura 6.1. Precipitação média anual (1960/61 a 2000/01).....	196
Figura 6.2. Número de dias em média com precipitação $\geq 1$ mm.....	197
Figura 6.3. Precipitação média mensal na região Norte (%), entre 1960/61 e 2000/01.....	199
Figura 6.4. Precipitação média por estações do ano.....	200
Figura 6.5. Anomalia da precipitação face ao valor médio mensal por grupos de estações.....	201
Figura 6.6. Precipitação média por estações do ano (%), na região Norte.....	201
Figura 6.7. Número médio de dias com precipitação $\geq 1$ mm na região Norte.....	202
Figura 6.8. Precipitação média e máxima anual na bacia do rio Vez.....	203

---

Figura 6.9. Precipitação anual (mm) entre 1960/61 e 2000/01 na bacia do rio Vez. ....	204
Figura 6.10. Precipitação média mensal na bacia do rio Vez (%). ....	204
Figura 6.11. Precipitação média por estação do ano na bacia do rio Vez. ....	205
Figura 6.12. Número médio de dias com precipitação $\geq 1$ mm na bacia do rio Vez. ....	205
Figura 6.13. Precipitação média e máxima anual na bacia do rio Este. ....	206
Figura 6.14. Precipitação anual (mm) nas estações na bacia do rio Este. ....	207
Figura 6.15. Precipitação média mensal na bacia do rio Este (%). ....	207
Figura 6.16. Precipitação média por estação do ano na bacia do rio Este. ....	208
Figura 6.17. Número médio de dias com precipitação $\geq 1$ mm na bacia do rio Este. ....	208
Figura 6.18. Precipitação média e máxima anual na bacia do rio Corgo. ....	209
Figura 6.19. Precipitação anual (mm) na bacia do rio Corgo. ....	209
Figura 6.20. Precipitação média mensal na bacia do rio Corgo (%). ....	210
Figura 6.21. Precipitação média por estação do ano na bacia do rio Corgo. ....	210
Figura 6.22. Número médio de dias com precipitação $\geq 1$ mm, na bacia do rio Corgo. ....	211
Figura 6.23. Precipitação média e máxima anual na bacia do rio Távora. ....	212
Figura 6.24. Precipitação anual (mm) na bacia do rio Távora. ....	213
Figura 6.25. Precipitação média mensal na bacia do rio Távora (%). ....	213
Figura 6.26. Precipitação média por estação do ano na bacia do rio Távora. ....	214
Figura 6.27. Número médio de dias com precipitação $\geq 1$ mm, na bacia do rio Távora. ....	214
Figura 6.28. Tendência da precipitação anual. Os triângulos a preto representam a magnitude da tendência com significância estatística (5% de nível de significância). ....	216
Figura 6.29. Precipitação anual e declive de Sen para uma tendência linear para as estações cujos resultados apresentam significância estatística: Aveleiras, Cerdeira, Leonte e Portelinha. ....	221
Figura 6.30. Precipitação anual e declive de Sen para uma tendência linear para as estações cujos resultados apresentam significância estatística: Celorico da Beira e Ervedosa. ....	224
Capítulo 7. Precipitações diárias e máximas diárias. ....	227
Figura 7.1. Precipitação média diária na região Norte. ....	227
Figura 7.2. Repartição dos dias com precipitação ( $P \geq 1$ mm), em nove classes de abundância diária. ....	229
Figura 7.3. Índice de concentração diária da precipitação anual. ....	230
Figura 7.4. Índice de concentração diária da precipitação sazonal. ....	231
Figura 7.5. Quantidade máxima de precipitação diária (Rx1day). ....	232
Figura 7.6. Quantidade máxima de precipitação em 5 dias (Rx5day). ....	233
Figura 7.7. Índice simples de intensidade diária (SDII). ....	234
Figura 7.8. Número médio de dias com precipitação $\geq 10$ mm. ....	235
Figura 7.9. Número médio de dias com precipitação $\geq 20$ mm. ....	235
Figura 7.10. Número médio de dias com precipitação $\geq 50$ mm. ....	236
Figura 7.11. Número total de dias com precipitação $\geq 50$ mm, por estações do ano. ....	236

Figura 7.12. Número médio de dias consecutivos com precipitação $\geq 1$ mm.....	237
Figura 7.13. Precipitação média anual superior ao percentil 95 da precipitação diária (R95pTOT). ....	238
Figura 7.14. Precipitação média anual superior ao percentil 99 da precipitação diária (R95pTOT). ....	238
Figura 7.15. Valores médios da precipitação máxima diária na região Norte. ....	239
Figura 7.16. Distribuição por meses do ano, das precipitações máximas diárias. ....	240
Figura 7.17. Frequência (%) de ocorrência de precipitações máximas diárias ao longo do ano. ....	240
Figura 7.18. Precipitações máximas para um período de retorno de 2 anos, para 1 (Rx1day), 5 (Rx5days), 30 (Rx30days) e 90 dias (Rx90days). ....	242
Figura 7.19. Precipitações máximas para um período de retorno de 10 anos, para 1 (Rx1day), 5 (Rx5days), 30 (Rx30days) e 90 dias (Rx90days). ....	243
Figura 7.20. Precipitações máximas para um período de retorno de 50 anos, para 1 (Rx1day), 5 (Rx5days), 30 (Rx30days) e 90 dias (Rx90days). ....	243
Figura 7.21. Precipitações máximas para um período de retorno de 100 anos, para 1 (Rx1day), 5 (Rx5days), 30 (Rx30days) e 90 dias (Rx90days). ....	244
Figura 7.22. Repartição dos dias com precipitação ( $P \geq 1\text{mm}$ ) na bacia do rio Vez, em nove classes de abundância diária. ....	245
Figura 7.23. Índice de concentração diária da precipitação sazonal na bacia do rio Vez. ....	246
Figura 7.24. Quantidade máxima de precipitação em 1 dia (Rx1day) e em 5 dias (Rx5day) na bacia do rio Vez. ....	246
Figura 7.25. Número médio de dias com precipitação $\geq 10$ mm (R10), $\geq 20$ mm (R20) e $\geq 50$ mm (R50) na bacia do rio Vez. ....	247
Figura 7.26. Número total de dias com precipitação $\geq 50$ mm (%), por estação do ano na bacia do rio Vez. ....	247
Figura 7.27. Precipitação média anual superior ao percentil 95 (R95pTOT) e 99 (R99pTOT) da precipitação diária na bacia do rio Vez. ....	248
Figura 7.28. Quantis (Mediana, quartil 1 e quartil 3), máximos e mínimos das séries de precipitações máximas diárias das estações na bacia do rio Vez. ....	248
Figura 7.29. Frequência (%) de ocorrência de precipitações máximas diárias ao longo do ano na bacia do rio Vez. ....	249
Figura 7.30. Máxima precipitação estimada, acumulada em 1 dia, para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Vez. ....	249
Figura 7.31. Máxima precipitação estimada, acumulada em 90 dias, para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Vez. ....	250
Figura 7.32. Repartição dos dias com precipitação ( $P \geq 1\text{mm}$ ) registados na bacia do rio Este, em nove classes de abundância diária. ....	250
Figura 7.33. Índice de concentração diária da precipitação sazonal na bacia do rio Este. ....	251

Figura 7.34. Quantidade máxima de precipitação em 1 dia (Rx1day) e em 5 dias (Rx5day) na bacia do rio Este.....	252
Figura 7.35. Número médio de dias com precipitação $\geq 10$ mm (R10), $\geq 20$ mm (R20) e $\geq 50$ mm (R50) na bacia do rio Este. ....	252
Figura 7.36. Dias com precipitação $\geq 50$ mm em %, por estação do ano na bacia do rio Este.....	252
Figura 7.37. Precipitação média anual superior ao percentil 95 (R95pTOT) e 99 (R99pTOT) da precipitação diária na bacia do rio Este.....	253
Figura 7.38. Quantis (Mediana, quartil 1 e quartil 3), máximos e mínimos das séries de precipitações máximas diárias na bacia do rio Este.....	254
Figura 7.39. Frequência (%) de ocorrência de precipitações máximas diárias ao longo do ano na bacia do rio Este.....	254
Figura 7.40. Máxima precipitação estimada, acumulada em 1 dia, para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Este. ....	254
Figura 7.41. Máxima precipitação estimada, acumulada em 90 dias, para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Este. ....	255
Figura 7.42. Repartição dos dias com precipitação ( $P \geq 1\text{mm}$ ) registados na bacia do rio Corgo, em nove classes de abundância diária.....	256
Figura 7.43. Índice de concentração diária da precipitação sazonal na bacia do rio Corgo.....	256
Figura 7.44. Quantidade máxima de precipitação em 1 dia (Rx1day) e em 5 dias (Rx5day) na bacia do rio Corgo. ....	257
Figura 7.45. Número médio de dias com precipitação $\geq 10$ mm (R10), $\geq 20$ mm (R20) e $\geq 50$ mm (R50) na bacia do rio Corgo. ....	258
Figura 7.46. Dias com precipitação $\geq 50$ mm em %, por estação do ano na bacia do rio Corgo. ....	258
Figura 7.47. Precipitação média anual superior ao percentil 95 (R95pTOT) e 99 (R99pTOT) da precipitação diária na bacia do rio Corgo. ....	259
Figura 7.48. Quantis (Mediana, quartil 1 e quartil 3), máximos e mínimos das séries de precipitações máximas diárias na bacia do rio Corgo. ....	259
Figura 7.49. Frequência (%) de ocorrência de precipitações máximas diárias ao longo do ano na bacia do rio Corgo. ....	260
Figura 7.50. Máxima precipitação estimada, acumulada em 1 dia, para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Corgo. ....	260
Figura 7.51. Máxima precipitação estimada, acumulada em 90 dias, para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Corgo.....	261
Figura 7.52. Repartição dos dias com precipitação ( $P \geq 1\text{mm}$ ) registados nas estações localizadas na bacia do rio Távora, em nove classes de abundância diária. ....	262
Figura 7.53. Índice de concentração diária da precipitação sazonal nas estações localizadas na bacia do rio Távora.....	262

Figura 7.54. Quantidade máxima de precipitação em 1 dia (Rx1day) e em 5 dias (Rx5day) na bacia do rio Távora.....	263
Figura 7.55. Número médio de dias com precipitação $\geq 10$ mm (R10), $\geq 20$ mm (R20) e $\geq 50$ mm (R50) na bacia do rio Távora. ....	263
Figura 7.56. Dias com precipitação $\geq 50$ mm em %, por estação do ano na bacia do rio Távora. ....	264
Figura 7.57. Precipitação média anual superior ao percentil 95 (R95pTOT) e 99 (R99pTOT) da precipitação diária na bacia do rio Távora. ....	264
Figura 7.58. Quantis (Mediana, quartil 1 e quartil 3), máximos e mínimos das séries de precipitações máximas diárias na bacia do rio Távora. ....	265
Figura 7.59. Frequência (%) de ocorrência de precipitações máximas diárias ao longo do ano nas estações localizadas na bacia do rio Távora.....	265
Figura 7.60. Máxima precipitação estimada, acumulada em 1 dia, para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Távora. ....	266
Figura 7.61. Máxima precipitação estimada, acumulada em 90 dias, para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Távora. ....	266
Capítulo 8. Regimes hidrológicos.....	269
Figura 8.1. Caudais anuais e linha de tendência da estação de Pontilhão de Celeiros. ....	270
Figura 8.2. Histograma de frequência dos anos com características secas, normais e húmidos da série de Pontilhão de Celeiros. AG – Coeficiente de Achatamento. ....	270
Figura 8.3. Coeficiente hidroclimático para a série de Pontilhão de Celeiros. ....	271
Figura 8.4. Relação da precipitação anual com o caudal anual na bacia do Vez. ....	271
Figura 8.5. Coeficiente mensal do caudal da série de Pontilhão de Celeiros. ....	272
Figura 8.6. Módulo e percentis por meses do ano em Pontilhão de Celeiros. ....	273
Figura 8.7. Coeficiente de variação mensal dos caudais em Pontilhão de Celeiros.....	274
Figura 8.8. Meses com caudal de estiagem (cmc $< 0,25$ ) em %, em Pontilhão de Celeiros. ....	274
Figura 8.9. Número de meses sem caudal (Q=0) em Pontilhão de Celeiros. ....	274
Figura 8.10. Curva de duração dos caudais médios diários em Pontilhão de Celeiros. ....	275
Figura 8.11. Número de dias de ocorrência dos máximos de caudal anual em Pontilhão de Celeiros, por mês. ....	275
Figura 8.12. Caudais para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Vez.....	276
Figura 8.13. Caudais anuais e linha de tendência da estação de Ponte Junqueira.....	277
Figura 8.14. Histograma de frequência dos anos com características secas, normais e húmidos da série de Ponte Junqueira. AG – Coeficiente de Achatamento.....	278
Figura 8.15. Coeficiente hidroclimático para a série de Ponte Junqueira.....	278
Figura 8.16. Relação da precipitação anual com o caudal anual na bacia do Este. ....	278
Figura 8.17. Coeficiente mensal do caudal da série de Ponte Junqueira. ....	279
Figura 8.18. Módulo e percentis por meses do ano em Ponte Junqueira.....	280

Figura 8.19. Coeficiente de variação mensal dos caudais em Ponte Junqueira. ....	280
Figura 8.20. Meses com caudal de estiagem ( $cmc < 0,25$ ) em %, em Ponte Junqueira. ....	281
Figura 8.21. Curva de duração dos caudais médios diários em Ponte Junqueira. ....	281
Figura 8.22. Número de dias de ocorrência dos máximos de caudal anual em Ponte Junqueira, por mês. ....	282
Figura 8.23. Caudais para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Este. ....	282
Figura 8.24. Caudais anuais e linha de tendência da estação de Ermida Corgo. ....	284
Figura 8.25. Histograma de frequência dos anos com características secas, normais e húmidos da série de Ermida Corgo. AG – Coeficiente de Achatamento. ....	284
Figura 8.26. Coeficiente hidroclimático para a série de Ermida Corgo. ....	285
Figura 8.27. Relação da precipitação anual com o caudal anual na bacia do Corgo. ....	285
Figura 8.28. Coeficiente mensal do caudal da série de Ermida Corgo. ....	286
Figura 8.29. Módulo e percentis por meses do ano em Ermida Corgo. ....	287
Figura 8.30. Coeficiente de variação mensal dos caudais em Ermida Corgo. ....	287
Figura 8.31. Meses com caudal de estiagem ( $cmc < 0,25$ ) em %, em Ermida. ....	288
Figura 8.32. Curva de duração dos caudais médios diários em Ermida. ....	288
Figura 8.33. Número de dias de ocorrência dos máximos de caudal anual em Ermida, por mês. ....	289
Figura 8.34. Caudais para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Corgo. ....	289
Figura 8.35. Caudais anuais e linhas de tendências das estações de Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova. ....	291
Figura 8.36. Histograma de frequência dos anos com características secas, normais e húmidos das séries de Quinta Rape e Moinho Ponte Nova. AG – Coeficiente de Achatamento. ....	292
Figura 8.37. Cruzamento dos coeficientes hidroclimáticos das séries de Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova. ....	292
Figura 8.38. Relação da precipitação anual com o caudal anual na bacia do Távora. ....	292
Figura 8.39. Coeficientes mensais dos caudais das séries de Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova. ....	293
Figura 8.40. Módulo e percentis por meses do ano nas estações de Quinta Rape ou Moinho da Ponte Nova. ....	294
Figura 8.41. Coeficiente de variação mensal dos caudais na bacia do Távora. ....	295
Figura 8.42. Meses com caudal de estiagem ( $cmc < 0,25$ ) em %, na bacia do Távora. ....	295
Figura 8.43. Curva de duração dos caudais médios diários na bacia do Távora. ....	296
Figura 8.44. Número de dias de ocorrência dos máximos de caudal anual na bacia do Távora, por mês. ....	297
Figura 8.45. Caudais para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Távora. ....	297
Parte III – As precipitações desencadeantes de cheias. ....	301
Capítulo 9. Caracterização hidro-meteorológica das cheias inventariadas nas bacias em estudo .....	301
Figura 9.1. Localização das cheias na bacia do rio Vez. ....	303



Figura 9.2. Número de ocorrências por mês na bacia do rio Vez. ....	304
Figura 9.3. Distribuição mensal dos dias com caudal de cheia em Pontilhão de Celeiros. ....	304
Figura 9.4. Número de dias consecutivos com caudal de cheia em Pontilhão de Celeiros. ....	305
Figura 9.5. Precipitação acumulada para as ocorrências de cheias, na bacia do rio Vez. ....	308
Figura 9.6. Durações críticas dos dias com caudal superior ao limiar de situação de cheia em Pontilhão de Celeiros. ....	309
Figura 9.7. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 4 de novembro de 1981 e 4 de janeiro de 1982. ....	310
Figura 9.8. Hidrograma de cheia do dia 30 de dezembro de 1981. ....	310
Figura 9.9. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 1 de outubro de 1987 e 20 janeiro de 1987. ....	311
Figura 9.10. Hidrograma de cheia do dia 15 de outubro de 1987. ....	311
Figura 9.11. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 20 outubro e 25 de dezembro de 1989. ....	312
Figura 9.12. Hidrograma de cheia do dia 20 de dezembro de 1989. ....	313
Figura 9.13. Tipos de tempo nos dias com caudal em situação de cheia (A) e tipos de tempo nos dias com caudal em situação de cheia por estações do ano (B) na bacia do rio Vez. ....	314
Figura 9.14. Localização das cheias na bacia do rio Este. ....	315
Figura 9.15. Número de ocorrências por mês na bacia do rio Este. ....	316
Figura 9.16. Distribuição mensal dos dias com caudal de cheia em Ponte Junqueira. ....	316
Figura 9.17. Número de dias consecutivos com caudal de cheia em Ponte Junqueira. ....	317
Figura 9.18. Durações críticas dos dias com caudal superior ao limiar de situação de cheia em Ponte Junqueira. ....	320
Figura 9.19. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 31 de outubro de 1981 e 2 de janeiro de 1982. ....	321
Figura 9.20. Hidrograma de cheia do dia 30 de dezembro de 1981. ....	321
Figura 9.21. Tipos de tempo nos dias com caudal em situação de cheia (A) e tipos de tempo nos dias com caudal em situação de cheia por estações do ano (B) na bacia do rio Este. ....	323
Figura 9.22. Localização das cheias na bacia do rio Corgo. ....	323
Figura 9.23. Número de ocorrências por mês na bacia do rio Corgo. ....	324
Figura 9.24. Distribuição mensal dos dias com caudal de cheia em Ermida. ....	325
Figura 9.25. Número de dias consecutivos com caudal de cheia em Ermida. ....	325
Figura 9.26. Durações críticas dos dias com caudal superior ao limiar de situação de cheia em Ermida. ....	331
Figura 9.27. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 12 de outubro e 12 de dezembro de 1959. ....	331
Figura 9.28. Hidrograma de cheia do dia 9 de dezembro de 1959. ....	332

Figura 9.29. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 2 de fevereiro e 4 de abril de 1962....	332
Figura 9.30. Hidrograma de cheia do dia 2 de abril de 1962.....	333
Figura 9.31. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 16 de dezembro de 1962 e 16 de fevereiro de 1963.....	333
Figura 9.32. Hidrograma de cheia do dia 16 de fevereiro de 1963.....	334
Figura 9.33. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 17 de outubro e 19 de dezembro de 1968.....	334
Figura 9.34. Hidrograma de cheia do dia 17 de dezembro de 1968. ....	335
Figura 9.35. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 13 de dezembro de 1978 e 16 de fevereiro de 1979.....	335
Figura 9.36. Hidrograma de cheia do dia 13 de fevereiro de 1979.....	336
Figura 9.37. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 9 de novembro de 1995 e 15 de janeiro de 1996.....	336
Figura 9.38. Hidrograma de cheia do dia 9 de janeiro de 1996.....	337
Figura 9.39. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 1 de dezembro de 2000 e 29 de janeiro de 2001.....	337
Figura 9.40. Hidrograma de cheia do dia 26 de janeiro de 2001.....	338
Figura 9.41. Tipos de tempo nos dias com caudal em situação de cheia (A) e tipos de tempo nos dias com caudal em situação de cheia por estações do ano (B) na bacia do rio Corgo.....	339
Figura 9.42. Localização das cheias na bacia do rio Távora.....	340
Figura 9.43. Distribuição anual dos dias com caudal de cheia em Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova. ....	341
Figura 9.44. Distribuição mensal dos dias com caudal de cheia em Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova. ....	342
Figura 9.45. Número de dias consecutivos com caudal de cheia em Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova. ....	343
Figura 9.46. Precipitação acumulada para as ocorrências de cheias, na bacia do rio Távora. ....	346
Figura 9.47. Durações críticas dos dias com caudal superior ao limiar de situação de cheia em Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova.....	347
Figura 9.48. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 1 de outubro e 20 de novembro de 1963.....	348
Figura 9.49. Hidrograma das cheias de dia 14 e 15 de novembro de 1963. ....	349
Figura 9.50. Tipos de tempo nos dias com caudal em situação de cheia na bacia do rio Távora.....	350
Figura 9.51. Tipos de tempo nos dias com caudal em situação de cheia por estações do ano na bacia do rio Távora.....	350
Capítulo 10. Limiares de precipitação para o desencadeamento de cheias.....	353
Figura 10.1. Exemplo de um limiar de precipitação e a sua utilização. ....	353

Figura 10.2. Limiares críticos de precipitação (quantidade/duração) para a bacia do Vez estabelecidos por regressão linear (RL).....	358
Figura 10.3. Limiares críticos de precipitação (intensidade/duração) para a bacia do Vez estabelecidos por regressão potencial (RP).....	359
Figura 10.4. Limiar crítico de precipitação (quantidade/duração) com base nos dados de precipitação diária de Casal Soeiro. ....	359
Figura 10.5. Limiares críticos de precipitação ponderada pela precipitação média anual estabelecidos por regressão linear (RL) para a bacia do Vez. ....	360
Figura 10.6. Limiares críticos de precipitação (quantidade/duração) para a bacia do Vez estabelecidos por regressão linear (RL) a partir dos dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia. ....	361
Figura 10.7. Limiares críticos de precipitação (intensidade/duração) para a bacia do Vez estabelecidos por regressão potencial (RP) a partir dos dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia. ....	361
Figura 10.8. Limiares de precipitação mínima (dourado) e máximo (vermelho) na estação de Casal Soeiro para a ocorrência de cheias na bacia do Vez. ....	362
Figura 10.9. Limiares críticos de precipitação (quantidade/duração) para a bacia do Este estabelecidos por regressão linear (RL).....	366
Figura 10.10. Limiares críticos de precipitação (intensidade/duração) para a bacia do Este estabelecidos por regressão potencial (RP).....	366
Figura 10.11. Limiar crítico de precipitação (quantidade/duração) com base nos dados de precipitação diária de Viatodos.....	367
Figura 10.12. Limiares críticos de precipitação ponderada pela precipitação média anual estabelecidos por regressão linear (RL) para a bacia do Este. ....	368
Figura 10.13. Limiares críticos de precipitação (quantidade/duração) para a bacia do Este estabelecidos por regressão linear (RL) a partir dos dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia. ....	368
Figura 10.14. Limiares críticos de precipitação (intensidade/duração) para a bacia do Este estabelecidos por regressão potencial (RP) a partir dos dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia. ....	369
Figura 10.15. Limiares de precipitação mínima (dourado) e máximo (vermelho) na estação de Viatodos para a ocorrência de cheias na bacia do Este.....	369
Figura 10.16. Limiares críticos de precipitação (quantidade/duração) para a bacia do Corgo estabelecidos por regressão linear (RL) com todos os eventos por estação.....	374
Figura 10.17. Limiares críticos de precipitação (intensidade/duração) para a bacia do Este estabelecidos por regressão potencial (RP) com todos os eventos por estação.....	374
Figura 10.18. Limiar crítico de precipitação (quantidade/duração) com base nos dados de precipitação diária de Lamas de Olo. ....	375
Figura 10.19. Limiares críticos de precipitação ponderada pela precipitação média anual estabelecidos por regressão linear (RL) para a bacia do Corgo.....	376

Figura 10.20. Limiares críticos de precipitação (quantidade/duração) para a bacia do Corgo estabelecidos por regressão linear (RL) a partir dos dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia. ....	376
Figura 10.21. Limiares críticos de precipitação (intensidade/duração) para a bacia do Corgo estabelecidos por regressão potencial (RP) a partir dos dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia. ....	377
Figura 10.22. Limiares de precipitação mínima (dourado) e máximo (vermelho) na estação de Lamas de Olo para a ocorrência de cheias na bacia do Corgo.....	377
Figura 10.23. Limiares críticos de precipitação (quantidade/duração) para a bacia do Távora estabelecidos por regressão linear (RL). ....	380
Figura 10.24. Limiares críticos de precipitação (intensidade/duração) para a bacia do Távora estabelecidos por regressão potencial (RP). ....	381
Figura 10.25. Limiar crítico de precipitação (quantidade/duração) com base nos dados de precipitação diária de Leomil.....	381
Figura 10.26. Limiares críticos de precipitação ponderada pela precipitação média anual estabelecidos por regressão linear (RL) para a bacia do Távora. ....	382
Figura 10.27. Limiares críticos de precipitação (quantidade/duração) para a bacia do Távora estabelecidos por regressão linear (RL) a partir dos dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia. ....	383
Figura 10.28. Limiares críticos de precipitação (intensidade/duração) para a bacia do Távora estabelecidos por regressão potencial (RP) a partir dos dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia. ....	383
Figura 10.29. Limiares de precipitação mínima (dourado) e máximo (vermelho) na estação de Casal Soeiro para a ocorrência de cheias na bacia do Távora. ....	384
Figura 10.30. Evolução das precipitações antecedentes acumuladas para diferentes durações entre outubro de 2000 a março de 2001. As linhas a tracejado indicam os dias com registo de cheias na bacia do rio Vez. ....	387
Figura 10.31. Precipitação diária mínima necessária para ultrapassar os diferentes limiares de precipitação em Casal Soeiro, entre 01 de outubro de 2000 e 31 de maio de 2001. ....	387
Figura 10.32. Limiares de precipitação antecedente acumulada para as diferentes durações e eventos de cheias nos dias 7 de dezembro de 2000 e 5 de janeiro de 2001. ....	388
Figura 10.33. Evolução das precipitações antecedentes acumuladas para diferentes durações entre outubro de 1938 a março de 1939. As linhas a tracejado indicam os dias com registo de cheias na bacia do rio Este.....	389
Figura 10.34. Precipitação diária mínima necessária para ultrapassar os diferentes limiares de precipitação em Viatodos, entre 01 de outubro de 1938 e 31 de maio de 1939. ....	389
Figura 10.35. Limiares de precipitação antecedente acumulada para as diferentes durações e eventos de cheias nos dias 15,16 e 17 de janeiro de 1939. ....	390

---

Figura 10.36. Evolução das precipitações antecedentes acumuladas para diferentes durações entre outubro de 1950 a março de 1951. As linhas a tracejado indicam os dias com registo de cheias na bacia do rio Corgo. ....	391
Figura 10.37. Precipitação diária mínima necessária para ultrapassar os diferentes limiares de precipitação em Lamas de Olo, entre 01 de outubro de 1950 e 31 de maio de 1951. ....	391
Figura 10.38. Limiares de precipitação antecedente acumulada para as diferentes durações e eventos de cheias nos dias 07 e 28 de janeiro e 05 e 21 fevereiro de 1951. ....	392
Figura 10.39. Evolução das precipitações antecedentes acumuladas para diferentes durações entre outubro de 1963 a fevereiro de 1964. As linhas a tracejado indicam os dias com registo de cheias na bacia do rio Távora. ....	393
Figura 10.40. Precipitação diária mínima necessária para ultrapassar os diferentes limiares de precipitação em Leomil, entre 01 de outubro de 1963 e 29 de fevereiro de 1964. ....	393
Figura 10.41. Limiares de precipitação antecedente acumulada para as diferentes durações e eventos de cheias nos dias 14 e 15 de novembro de 1963 ....	394
Conclusão geral .....	396
Referências Bibliográficas .....	405

## Índice de Quadros

Índice de Figuras .....	8
Índice de Quadros .....	22
Resumo .....	28
Abstract .....	30
Acrónimos e Abreviaturas.....	32
Introdução .....	34
Parte I – Enquadramento teórico, definição de áreas de estudo e recolha de informação.....	37
Capítulo 1. Estado da arte .....	37
Quadro 1.1. Desastres Naturais em Portugal, entre 1900 e 2013. ....	49
Quadro 1.2. Caudais de ponta de cheias históricas do rio Douro, na Régua. ....	52
Capítulo 2. Constituição e descrição da base de dados de cheias na região Norte.....	55
Quadro 2.1. Periódicos consultados. ....	61
Quadro 2.2. Coeficiente de Eficácia (%) para o dia da ocorrência de cheias, por tipo de inundação e CWT. ....	94
Quadro 2.3. Coeficiente de Eficácia (%) para os 10 dias antecedentes à ocorrência de cheias, por tipo de inundação e CWT.....	94
Quadro 2.4. Coeficiente de Eficácia (%) por estação do ano e CWT.....	95
Capítulo 3. Caracterização das bacias hidrográficas em estudo .....	99
Quadro 3.1. Parâmetros referentes à geometria das bacias hidrográficas em estudo. ....	103
Quadro 3.2. Densidade de drenagem para a escala 1:25000.....	105
Quadro 3.3. Parâmetros referentes à rede de drenagem nas bacias em estudo.....	106
Quadro 3.4. Parâmetros referentes ao relevo nas bacias em estudo.....	112
Quadro 3.5. Classificação da nomenclatura do uso do solo.....	120
Quadro 3.6. Tempo de concentração nas bacias em estudo. ....	126
Quadro 3.7. Caracterização do tipo de solo, em função da legenda da Carta dos Solos de Portugal. ....	129
Quadro 3.8. Números de escoamento (CN) médios para diferentes condições de AMC. ....	131
Capítulo 4. Aquisição e validação da informação pluviométrica e hidrométrica .....	141
Quadro 4.1. Qualidade das séries anuais das estações estudadas para a bacia do rio Vez. ....	142
Quadro 4.2. Qualidade das séries anuais das estações estudadas para a bacia do rio Este. ....	143
Quadro 4.3. Qualidade das séries anuais das estações estudadas para a bacia do rio Corgo. ....	143
Quadro 4.4. Qualidade das séries anuais das estações estudadas para a bacia do rio Távora. ....	144
Quadro 4.5. Resultados dos testes de homogeneidade absoluta e classificação das séries para as estações da bacia do rio Vez. ....	150

Quadro 4.6. Resultados dos testes de homogeneidade relativa e classificação das séries para as estações da bacia do rio Vez. ....	151
Quadro 4.7. Resultados dos testes de homogeneidade absoluta e classificação das séries para as estações da bacia do rio Este. ....	152
Quadro 4.8. Resultados dos testes de homogeneidade relativa e classificação das séries para as estações da bacia do rio Este. ....	153
Quadro 4.9. Resultados dos testes de homogeneidade absoluta e classificação das séries para as estações da bacia do rio Corgo.....	154
Quadro 4.10. Resultados dos testes de homogeneidade relativa e classificação das séries para as estações da bacia do rio Corgo.....	154
Quadro 4.11. Resultados dos testes de homogeneidade absoluta e classificação das séries para as estações da bacia do rio Távora. ....	156
Quadro 4.12. Resultados dos testes de homogeneidade relativa e classificação das séries para as estações da bacia do rio Távora. ....	156
Quadro 4.13. Qualidade das séries anuais das estações selecionadas para a região Norte. ....	158
Quadro 4.14. Resultados dos testes de homogeneidade absoluta e classificação das séries para as estações da região Norte. ....	159
Quadro 4.15. Resultados dos testes de homogeneidade relativa e classificação das séries para as estações da região Norte. ....	160
Quadro 4.16. Período de dados com precipitação horária disponível das séries em estudo. ....	161
Quadro 4.17. Estações Hidrométricas na bacia de estudo.....	162
Quadro 4.18. Resultados dos testes de homogeneidade e classificação das séries de caudal das bacias em estudo. ....	163
Parte II – Análise estatística e espacial das precipitações e caracterização dos regimes hidrológicos....	165
Capítulo 5. Metodologias de tratamento da informação pluviométrica e hidrométrica .....	165
Quadro 5.1. Índices de extremos calculados.....	170
Quadro 5.2. Estações aceites ou rejeitadas pelos testes (1 - Teste Kolmogorov-Smirnov; 2 - Teste Anderson Darling; 3 - Teste Qui-Quadrado) aplicados aos dados de precipitação acumulada para diferentes durações.....	174
Quadro 5.3. Simbologia dos modelos de interpolação testados.....	184
Quadro 5.4. Estatística descritiva dos valores observados e dos estimados da precipitação média anual. ....	185
Quadro 5.5. Medidas de avaliação das estimativas da precipitação média anual produzidas para os modelos testados. ....	186
Quadro 5.6. Período de dados das estações hidrométricas.....	190
Quadro 5.7. Coeficientes hidroclimáticos. ....	192
Capítulo 6. Precipitações anuais e mensais.....	195

Quadro 6.1. Estatística descritiva das precipitações anuais.....	198
Quadro 6.2. Resultados do teste de tendência de Mann-Kendall (Teste Z) e do declive de Sen (tendência – mm/ano) para as séries anuais.....	215
Quadro 6.3. Resultados do Teste de tendência de Mann-Kendall (Teste Z) e do declive de Sen (tendência – mm/ano) para o outono. ....	217
Quadro 6.4. Resultados do Teste de tendência de Mann-Kendall (Teste Z) e do declive de Sen (tendência – mm/ano) para o inverno. ....	218
Quadro 6.5. Resultados do Teste de tendência de Mann-Kendall (Teste Z) e do declive de Sen (tendência – mm/ano) para a primavera. ....	218
Quadro 6.6. Resultados do Teste de tendência de Mann-Kendall (Teste Z) e do declive de Sen (tendência – mm/ano) para o verão. ....	219
Quadro 6.7. Resultados do teste de tendência de Mann-Kendall (Teste Z) e do declive de Sen (tendência – mm/ano) para as estações da bacia do rio Vez. ....	220
Quadro 6.8. Resultados do teste de tendência de Mann-Kendall (Teste Z) e do declive de Sen (tendência – mm/ano) para as estações da bacia do rio Este. ....	222
Quadro 6.9. Resultados do teste de tendência de Mann-Kendall (Teste Z) e do declive de Sen (tendência – mm/ano) para as estações da bacia do rio Corgo.....	223
Quadro 6.10. Resultados do Teste de tendência de Mann-Kendall (Teste Z) e do declive de Sen (tendência – mm/ano) para as estações da bacia do rio Távora.....	224
Capítulo 7. Precipitações diárias e máximas diárias.....	227
Quadro 7.1. Estatística descritiva das precipitações diárias. ....	228
Capítulo 8. Regimes hidrológicos.....	269
Quadro 8.1. Dados estatísticos da estação de Pontilhão de Celeiros (1960-61 a 1989-1990). ....	269
Quadro 8.2. Meses de abundância e escassez de escoamento e precipitação média mensal de 1960 a 1990.....	272
Quadro 8.3. Dados estatísticos da estação de Ponte Junqueira (1977-78 a 1999-2000).....	276
Quadro 8.4. Meses de abundância e escassez de escoamento e precipitação média mensal de 1978 a 2000.....	279
Quadro 8.5. Dados estatísticos da estação de Ermida Corgo (1956/57 a 2005/06). ....	283
Quadro 8.6. Meses de abundância e escassez de escoamento e precipitação média mensal de 1956 a 06. ....	286
Quadro 8.7. Dados estatísticos das estações de Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova (1960/61 a 1989/1990). ....	291
Quadro 8.8. Meses de abundância e escassez de escoamento e precipitação média mensal em Aguiar da Beira (1976/77-2005/06). ....	293
Quadro 8.9. Comparação de alguns dados estatísticos entre as estações hidrométricas e as estações meteorológicas nas bacias em estudo.....	298



Parte III – As precipitações desencadeantes de cheias.....	301
Capítulo 9. Caracterização hidro-meteorológica das cheias inventariadas nas bacias em estudo .....	301
Quadro 9.1. Total de ocorrências nas bacias em estudo. ....	301
Quadro 9.2. Dias com caudal de cheia entre 1959/60 e 1989/90 em Pontilhão de Celeiros.....	306
Quadro 9.3. Precipitação acumulada e intensidade diária (mm/h) das ocorrências com dados de precipitação diária na bacia do rio Vez. ....	307
Quadro 9.4. Período de retorno (em anos) para a precipitação acumulada das ocorrências de cheias na bacia do rio Vez. ....	309
Quadro 9.5. Tipos de tempo registado nos dias das ocorrências das cheias registadas na bacia do Vez. ....	314
Quadro 9.6. Dias com caudal de cheia entre 1978/79 e 1999/00 em Ponte Junqueira. ....	318
Quadro 9.7. Precipitação acumulada e intensidade diária (mm/h) das ocorrências com dados de precipitação diária na bacia do rio Este. ....	319
Quadro 9.8. Período de retorno (em anos) para a precipitação acumulada das ocorrências de cheias na bacia do rio Este. ....	320
Quadro 9.9. Tipos de tempo registado nos dias das ocorrências das cheias registadas na bacia do Este. ....	322
Quadro 9.10. Dias com caudal de cheia entre 1956/57 e 2005/06 em Ermida.....	326
Quadro 9.11. Precipitação acumulada e intensidade diária (mm/h) das ocorrências com dados de precipitação diária na bacia do rio Corgo. ....	329
Quadro 9.12. Período de retorno (em anos) para a precipitação acumulada das ocorrências de cheias na bacia do rio Corgo. ....	330
Quadro 9.13. Tipos de tempo registado nos dias das ocorrências das cheias registadas na bacia do rio Corgo. ....	339
Quadro 9.14. Dias com caudal de cheia entre 1976/77 e 2005/06 em Quinta Rape. ....	344
Quadro 9.15. Dias com caudal de cheia entre 1976/77 e 2005/06 em Moinho da Ponte Nova. ....	345
Quadro 9.16. Precipitação acumulada e intensidade diária (mm/h) das ocorrências com dados de precipitação diária na bacia do rio Távora. ....	346
Quadro 9.17. Período de retorno (em anos) para a precipitação acumulada das ocorrências de cheias na Bacia do rio Távora. ....	347
Quadro 9.18. Tipos de tempo registado nos dias das ocorrências das cheias registadas na bacia do Távora.....	349
Capítulo 10. Limiares de precipitação para o desencadeamento de cheias.....	353
Quadro 10.1. Combinações críticas (quantidade/duração) associados às ocorrências de cheias na bacia do rio Vez para as diferentes estações. A negrito encontra-se a combinação crítica com o período de retorno mais elevado.....	358

---

Quadro 10.2. Razão da precipitação antecedente acumulada em milímetros, ponderada pela PMA para as combinações críticas associadas aos eventos de cheias, na bacia do Vez, para as diferentes estações em análise.....	360
Quadro 10.3. Valores de precipitação antecedente acumulada (mm) correspondentes aos limiares mínimo, máximo e de pré-aviso para diferentes durações em Casal Soeiro e relação entre o número de eventos de cheias localizados acima ou abaixo do limiar máximo. ....	362
Quadro 10.4. Número de eventos de precipitação que ultrapassaram o limiar mínimo de precipitação antecedente acumulada nos anos em que não se registaram eventos de cheias com base nos registos de precipitação em Casal Soeiro. ....	363
Quadro 10.5. Probabilidade de um evento de precipitação corresponder a um evento de cheia depois de ultrapassado o limiar de precipitação mínimo.....	364
Quadro 10.6. Combinações críticas (quantidade/duração) associados às ocorrências de cheias na bacia do rio Este para as diferentes estações. A negrito encontra-se a combinação crítica com o período de retorno mais elevado.....	365
Quadro 10.7. Razão da precipitação antecedente acumulada em milímetros, ponderada pela PMA para as combinações críticas associadas aos eventos de cheias, na bacia do Este, para as diferentes estações em análise.....	367
Quadro 10.8. Valores de precipitação antecedente acumulada (mm) correspondentes aos limiares mínimo, máximo e de pré-aviso para diferentes durações em Viatodos e relação entre o número de eventos de cheias localizadas acima ou abaixo do limiar máximo. ....	370
Quadro 10.9. Número de eventos de precipitação que ultrapassaram o limiar mínimo de precipitação antecedente acumulada nos anos em que não se registaram eventos de cheias com base nos registos de precipitação em Viatodos. ....	370
Quadro 10.10. Probabilidade de um evento de precipitação corresponder a um evento de cheia depois de ultrapassado o limiar de precipitação mínimo na estação de Viatodos.....	371
Quadro 10.11. Combinações críticas (quantidade/duração) associados às ocorrências de cheias na bacia do rio Corgo para as diferentes estações. A negrito encontra-se a combinação crítica com o período de retorno mais elevado.....	372
Quadro 10.12. Razão da precipitação antecedente acumulada em milímetros, ponderada pela PMA para as combinações críticas associadas aos eventos de cheias, na bacia do Corgo para as diferentes estações em análise.....	375
Quadro 10.13. Valores de precipitação antecedente acumulada (mm) correspondentes aos limiares mínimo, máximo e de pré-aviso para diferentes durações em Lamas de Olo e relação entre o número de eventos de cheias localizados acima ou abaixo do limiar máximo. ....	378
Quadro 10.14. Número de eventos de precipitação que ultrapassaram o limiar mínimo de precipitação antecedente acumulada nos anos em que não se registaram eventos de cheias com base nos registos de precipitação em Lamas de Olo. ....	378

---

Quadro 10.15. Probabilidade e um evento de precipitação corresponder a um evento de cheia depois de ultrapassado o limiar de precipitação mínimo.....	379
Quadro 10.16. Combinações críticas (quantidade/duração) associados às ocorrências de cheias na bacia do rio Távora para as diferentes estações. A negrito encontra-se a combinação crítica com o período de retorno mais elevado.....	379
Quadro 10.17. Razão da precipitação antecedente acumulada em milímetros, ponderada pela PMA para as combinações críticas associadas aos eventos de cheias, na bacia do Távora, para as diferentes estações em análise.....	382
Quadro 10.18. Valores de precipitação antecedente acumulada (mm) correspondentes aos limiares mínimo, máximo e de pré-aviso para diferentes durações em Leomil e relação entre o número de eventos de cheias localizados acima ou abaixo do limiar máximo.....	384
Quadro 10.19. Número de eventos de precipitação que ultrapassaram o limiar mínimo de precipitação antecedente acumulada nos anos em que não se registaram eventos de cheias com base nos registos de precipitação em Leomil.....	385
Quadro 10.20. Probabilidade e um evento de precipitação corresponder a um evento de cheia depois de ultrapassado o limiar de precipitação mínimo.....	386
Conclusão geral .....	396
Referências Bibliográficas .....	405

## Resumo

A prevenção e minimização dos efeitos das cheias constituem um eixo fundamental do programa de medidas do Plano Nacional da Água (APA, 2015). O presente trabalho integra-se no âmbito do projeto “DISASTER” (PTDC/CS-GEO/103231/2008) e pretende-se aprofundar o conhecimento dos eventos de precipitação no desencadeamento de cheias na região Norte, mais precisamente em quatro bacias hidrográficas: Vez, Este, Corgo e Távora.

Na base de dados de cheias criada, estão inventariadas, entre 1865 e 2011, 1873 ocorrências, das quais, 508 provocaram mortos, feridos, desalojados, evacuados ou desaparecidos. São sobretudo cheias progressivas e concentram-se nos principais centros urbanos e ao longo dos principais rios. Comprovou-se também que os tipos de tempo ciclónicos representam as condições de circulação atmosférica que com maior frequência se verificam antes e no decurso dos eventos de cheia.

Os contrastes espaciais de precipitação refletem a atuação conjunta do relevo, da exposição das vertentes aos fluxos de ar húmido e da continentalidade. As terras altas do Noroeste são, destacadamente, as áreas mais chuvosas, estando a bacia do rio Vez sujeita a precipitação frequente e mais intensa ao longo do ano. Na bacia do Este, próxima do oceano Atlântico, as precipitações são frequentes mas menos intensas. A bacia do Corgo ilustra as variações espaciais que as montanhas do Alvão e Marão determinam, notando-se o contraste entre as estações localizadas nestas montanhas (mais chuvosas) e a este (muito menos chuvosas). A bacia do Távora encontra-se abrigada pelas serras a ocidente e pela cordilheira central, e é por isso, uma das regiões mais secas da região Norte.

O comportamento da precipitação antecedente a um dado evento de cheia é único. Na bacia do Vez, a precipitação acumulada para durações superiores a um mês são fundamentais para o desencadeamento das cheias, enquanto na bacia do Este, poderão bastar 2 a 5 dias de precipitação. Na bacia do Corgo, verifica-se que, na origem das cheias, tanto podem suceder episódios de precipitação acumulada superior a 30 dias, como episódios mais concentrados no tempo. Na bacia do Távora, o baixo número de ocorrências não permitiu tirar conclusões a este respeito.

Os limiares críticos de precipitação com base na combinação crítica: quantidade / duração apresentam uma melhor robustez e a análise retrospectiva sugere que os limiares mínimo e de

pré-aviso estão bem ajustados e são por isso, uma mais-valia visando a tomada de medidas de preparação para a ocorrência de cheias por parte das entidades responsáveis, como as autoridades de proteção civil e os municípios.

**Palavras-chave:** cheias, região Norte, base de dados, limiares críticos de precipitação.

## Abstract

Floods prevention and mitigation of its impacts is a fundamental objective of the National Water Plan measures program (APA, 2015). This work is part of the scope of the "DISASTER" project (PTDC/CS-GEO/103231/2008) and is intended to deepen the knowledge of precipitation events in triggering floods in the North region, specifically in four watersheds: Vez, Este, Corgo and Távora.

In the floods database, are inventoried, between 1865 and 2011, 1873 occurrences, of which 508 caused deaths, injuries, homeless, evacuated or missing. They are mostly progressive floods and are concentrated in major urban centers and along major rivers. It is also proved that the cyclonic weather types represent the atmospheric circulation conditions that occur most frequently before and during the flood events.

The main spatial precipitation contrasts in Northern Portugal are a consequence of combination of effects as relief, exposure to humid air flows and the continentally. The Northwestern highlands are clearly the rainiest areas, where the Vez watershed is affected by more frequent and more intense rainfall throughout the year. In the Este watershed, near the Atlantic Ocean, rainfall is frequent but less intense. The Corgo watershed illustrates the spatial variations that the Alvão and Marão mountains determine, noting the contrast between stations located at the windward slopes of these mountains and stations located at the lee side (much less rain). The Távora watershed is sheltered by the western mountains and the central mountain range and therefore, is one of the driest regions of the North region.

The behavior of antecedent precipitation to a certain flood event is unique. In the Vez watershed, the cumulative rainfall for durations longer than one month are critical to trigger floods, while in Este watershed may be sufficient 2-5 days of rainfall. The Corgo watershed, there are both episodes of cumulative rainfall over 30 days, as episodes more concentrated in time. In the Távora watershed, the low number of cases did not permit to draw conclusions about this topic.

Rainfall thresholds based on the critical combination: amount / duration have a better robustness and a retrospective analysis suggests that the minimum and advance warning thresholds are well adjusted and are therefore potentially useful for preparation actions to floods occurrences by official organizations such as civil protection authorities and local authorities.

**Keywords:** floods, Northern Portugal, database, critical precipitation thresholds.

## Acrónimos e Abreviaturas

**AMC:** Condição Antecedente de Humidade

**ANPC:** Autoridade Nacional de Proteção Civil

**APA:** Agência Portuguesa do Ambiente

**BD:** Base de Dados

**BDG:** Base de Dados Geográfica

**BDC-N:** Base de dados de cheias da região Norte

**CFc:** Coeficiente de flutuação de cheia

**CI:** Índice de Concentração Diária

**CMC:** coeficiente mensal do caudal

**CN:** Números de Escoamento

**Coeficiente de Determinação:**  $r^2$

**CWT:** Tipos de circulação atmosférica

**DISASTER:** Desastres naturais de origem hidro-geomorfológica em Portugal: base de dados SIG para apoio à decisão no ordenamento do território e planeamento de emergência, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (PTDC/CS-GEO/103231/2008).

**EAM%:** Erro percentual absoluto médio

**EAM:** Erro absoluto médio

**EM:** Erro médio

**EM-DAT:** International Disaster Database, CRED, Department of Public Health, Université Catholique of Louvain (Brussels, Belgium)

**EQM:** Erro quadrático médio

**IPMA:** Instituto Português do Mar e da Atmosfera

**MDT:** Modelo Digital do Terreno

**NAO:** Oscilação do Atlântico Norte

**PGBH:** Plano de Gestão de Bacia Hidrográfica

**PNA:** Plano Nacional da Água

**PNPOT:** Plano Nacional de Políticas de Ordenamento do Território

**PROT-N:** Plano Regional de Ordenamento do Território da região Norte

**RH:** Região Hidrográfica

**SGBD:** Sistema Gestor de Base de Dados



**SIG:** Sistema de Informação Geográfica

**SLP:** Médias diárias de pressão ao nível do mar

**SNIRH:** Sistema Nacional de Recursos Hídricos

**SNHT:** Standard Normal Homogeneity Test

**VN:** Von Neumann ratio test

## Introdução

As cheias incluem-se no rol de catástrofes naturais suscetíveis de causar perdas humanas e prejuízos materiais em várias partes do globo, incluindo em Portugal ([Brandão, 1995](#)). Em mais de 7.000 catástrofes naturais ocorridas nas últimas décadas no mundo, cerca de três quartos estão relacionadas com a água e destas, as cheias representam um terço ([Douben, 2006](#)). As cheias são fenómenos extremos e temporários, provocados por precipitações moderadas e persistentes ou por precipitações repentinas e de elevada intensidade. A desflorestação, a impermeabilização dos solos, a urbanização em leito de cheia, o confinamento de linhas de água que contribuem para a modificação do regime hídrico natural, o entulhamento ou canalização de pequenos cursos de água ou a construção de muros e aterros transversais ao sentido de escoamento das linhas de água, podem levar ao agravamento das consequências das cheias ([Jones, 2000](#)). Em Portugal, o Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT) considera a avaliação e prevenção dos fatores e das situações de risco, bem como, o desenvolvimento de dispositivos e medidas de minimização dos respetivos efeitos, como medidas prioritárias para o ordenamento, o desenvolvimento e coesão territorial do país ([DGT, 2006](#)). Mais recentemente, a prevenção e minimização dos efeitos das cheias constituem um eixo fundamental do programa de medidas do Plano Nacional da Água (PNA) ([APA, 2015](#)). Neste documento, uma das medidas propostas é a promoção do desenvolvimento de sistemas de previsão e alerta das cheias, adaptado às características das bacias hidrográficas.

Este trabalho pretende assim, aplicar um conjunto de metodologias que permitam aprofundar o conhecimento dos eventos de precipitação no desencadeamento de cheias na região Norte de Portugal. A precipitação, como fator desencadeante das cheias, incide de forma desigual sobre o território, podendo registar-se eventos de precipitação contínuos e prolongados que podem dar origem a cheias progressivas ou eventos de precipitação intensa e de curta duração que estão associados a cheias rápidas. Assumindo que os eventos naturais irão ocorrer no futuro, em circunstâncias semelhantes às que levaram a eventos passados, o conhecimento dos eventos históricos ([Barnolas & Llasat, 2007](#)) e a análise hidro-meteorológica das cheias são um valioso auxílio no estudo deste risco natural. O presente trabalho integra-se no âmbito do projeto “DISASTER” (PTDC/CS-GEO/103231/2008), que tem por objeto central os desastres

naturais de origem hidro-geomorfológica em Portugal, nos quais as cheias assumem, pelas suas consequências humanas, uma importância de grande relevo.

Deste modo, especificamente, os objetivos desta dissertação são:

- Criar uma base de dados sobre as cheias na região Norte, ocorridas no século XX e na primeira década do século XXI;
- Analisar diferentes métodos de interpolação espacial, que permitam expressar satisfatoriamente os principais contrastes identificados ao longo da pesquisa;
- Analisar as precipitações na região Norte, do ponto de vista estatístico e também da variabilidade espacial, procurando investigar as relações entre as condições pluviométricas e diferentes variáveis geotopográficas;
- Avaliar as tendências de evolução temporal das cheias e da precipitação anual e sazonal;
- Estudar os padrões de circulação atmosférica que estão relacionados com as cheias na região Norte;
- Caracterizar as cheias inventariadas nas bacias de estudo, do ponto de vista hidro-meteorológico;
- Estabelecer limiares críticos de precipitação responsáveis pela ocorrência de cheias;
- Definir estratégias para a mitigação do risco de cheias na região Norte.

Para dar resposta aos objetivos propostos, este trabalho foi dividido em três partes. Na Parte I procede-se ao enquadramento temático e à síntese do estado da arte, à caracterização das áreas de estudo e à descrição da metodologia da recolha de informação pluviométrica e hidrométrica (Capítulo 1,2,3 e 4). A Parte II é composta pela análise estatística e espacial das precipitações e pela caracterização dos regimes hidrológicos (Capítulo 5,6,7 e 8). Na Parte III analisam-se as precipitações desencadeantes de cheias, através da caracterização dos eventos passados e na definição de limiares críticos de precipitação (Capítulo 9 e 10).

Mais concretamente, no Capítulo 1 apresenta-se o enquadramento teórico das cheias, através das suas definições, tipos e características. Além disso, caracteriza-se a região Norte em termos climáticos e hidrológicos, apresentando-se uma síntese do conhecimento atual sobre as cheias na região.

No Capítulo 2 expõe-se a metodologia de construção do inventário de cheias, abordando a modelação da base de dados, recolha, validação e organização das ocorrências. A partir da base de dados analisamos a distribuição espacial e temporal das ocorrências desde 1871 até 2011. No final, selecionamos as quatro bacias hidrográficas em estudo. As bacias escolhidas

foram as do Vez, Este, Corgo e Távora, atendendo à disponibilidade de dados e pelas características geográficas e climáticas de cada bacia serem distintas.

No Capítulo 3 realiza-se uma caracterização das bacias hidrográficas em estudo, culminando na identificação dos sectores principais das redes hidrográficas mais suscetíveis a cheias.

No Capítulo 4 apresenta-se a metodologia e recolha de dados pluviométricos e hidrométricos bem como a validação desta informação através de testes de homogeneidade.

No Capítulo 5 expõem-se as metodologias que serão utilizadas nos capítulos 6,7 e 8 sobre a análise estatística e espacial das precipitações e a caracterização dos regimes hidrológicos. Assim, no Capítulo 6 patenteia-se os métodos de tratamento das precipitações anuais e mensais e no Capítulo 7 apresentam-se as metodologias de análise das precipitações diárias e máximas diárias. Para terminar a Parte II, apresenta-se a abordagem de estudo dos regimes hidrológicos das quatro bacias em estudo.

Como se referiu, a terceira e última parte da tese é dedicada à avaliação das precipitações desencadeantes de cheias na região Norte e compreende dois capítulos. No capítulo 9 é levada a cabo uma caracterização hidro-meteorológica das cheias inventariadas nas bacias em estudo e, por fim, no Capítulo 10 proceder-se-á determinação de limiares críticos de precipitação no desencadeamento de cheias nas quatro bacias analisadas. Os limiares de precipitação antecedente são validados e são identificadas as estações que apresentam um melhor ajuste dos limiares empíricos aos eventos de cheia, em cada bacia. Por último, é feita a análise retrospectiva dos eventos de cheia que provocaram mais ocorrências em cada bacia em estudo.

---

## Parte I – Enquadramento teórico, definição de áreas de estudo e recolha de informação

### Capítulo 1. Estado da arte

#### 1.1. As cheias e as inundações: definições, tipos e características

Os desastres naturais, como as cheias, causam danos pessoais, materiais e funcionais consideráveis em várias partes do globo, incluindo em Portugal (Brandão, 1995). As cheias são dos desastres naturais mais ameaçadores para as populações, provocando o aumento de danos nas últimas décadas (Schanze, 2006).

Na literatura existem várias definições de cheias, não existindo uniformidade no seu conceito (Ramos, 1994). Segundo Lencastre & Franco (2003, p. 285): *“as cheias são fenómenos perfeitamente naturais, decorrentes do carácter aleatório dos processos hidrológicos, cujo conhecimento interessa aprofundar para se minimizarem os riscos delas decorrentes”*. Uma cheia define-se como uma *“subida da água (de um rio, lago, mar ou albufeira) que ultrapassa o seu limite natural e artificial e que submerge uma área que usualmente se encontra emersa”* (Wilson & Moore 1998, p. 25 in Ramos, 2009). Segundo Chow (1956) ocorre uma cheia sempre que o rio transborda em relação ao seu leito ordinário. A Comissão Europeia em 2006 propôs a seguinte definição de cheia: *“cobertura temporária de água num terreno que normalmente não está coberto por água”* (Barredo, 2007 p. 130). As cheias não devem ser confundidas com inundações. Para Douben (2006) uma cheia é uma condição temporária, na qual o nível da água excede um determinado valor, saindo do seu limite normal, o que pode não resultar em inundações. Uma inundação é definida como o transbordo dos limites normais de por exemplo um rio, lago, mar ou acumulação de água, como resultado de precipitação intensa ou falta de capacidade de descarga das condutas de águas pluviais e residuais afetando áreas que não são normalmente submersas (Douben, 2006). A mesma interpretação tem Ramos (2005a), que afirma que todas as cheias ocasionam inundações, mas nem todas as inundações são suscitadas por cheias. As cheias acontecem sempre que o rio transborda em relação ao seu leito ordinário. As inundações acontecem nos terrenos marginais, ou seja, no leito de cheia (Ramos, 2005a). Todavia, existem inundações que não estão associadas aos rios, como por

exemplo, as que são provocadas por galgamentos oceânicos da linha de costa em situações de tempestade (por ex. *storm surge*) ou as inundações urbanas devidas às chuvas intensas, à impermeabilização das superfícies construídas e a sistemas de águas residuais e pluviais inadequados (Ramos, 2005a), bem como, devido à subida do nível freático.

As cheias podem ser classificadas de diferentes formas quanto à sua génese, número de pontas de cheia, periodicidade, velocidade de progressão/duração, magnitude, recorrência, severidade e índice de magnitude (Figura 1.1). As cheias quanto à sua génese podem ser classificadas de pluvial, de fusão, costeira, de obstáculo de derrocada natural e de derrocada artificial. Os fatores desencadeantes das cheias estão relacionados com as condições meteorológicas, nomeadamente a chuva ou a fusão rápida da neve. A chuva é a principal causa de cheias podendo ser contínua e originando cheias progressivas, ou concentrada no tempo e no espaço e de grande intensidade, provocando cheias rápidas (Ramos, 2009).

Génese (factores desencadeantes)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pluvial</li> <li>• De fusão</li> <li>• Costeira</li> <li>• De obstáculo</li> <li>• De derrocada natural</li> <li>• De derrocada artificial</li> </ul>
Génese (nº de pontas de cheia)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Simples ou monogénica</li> <li>• Complexa</li> </ul>
Periodicidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Regular</li> <li>• Irregular</li> </ul>
Velocidade /Duração	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Rápida ou repentina</li> <li>• Lenta ou progressiva</li> </ul>
Magnitude	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pequena</li> <li>• Média</li> <li>• grande</li> </ul>
Recorrência	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anual; decenal; centenária; milenária; decamilenária</li> </ul>
Severidade	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Classe 1: cheias grandes</li> <li>• Classe 1,5: muito grandes</li> <li>• Classe 2: excepcionais</li> </ul>
Índice de Magnitude	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Índice que relaciona a duração, severidade e a área afectada</li> </ul>

Figura 1.1. Critérios de classificação e tipos de cheia.

Adaptado de Ramos (2009).

A fusão rápida da neve também pode causar cheias, devendo-se sobretudo a subidas bruscas da temperatura e a advecções de ar quente, por vezes combinadas com chuvas que ajudam ao

processo de fusão. As águas em estado sólido passam assim para líquido e provocam o transbordo dos rios.

As cheias costeiras devem-se ao escoamento fluvial abundante, associado a fenómenos de *storm surge* (elevação do nível do mar de origem meteorológica) e efeito das marés.

As cheias de obstáculo despontam quando algum impedimento surge no escoamento fluvial devido por exemplo a blocos de gelo, grandes quantidades de vegetação ou lixo, movimentos de vertente ou congelamento do curso de água na sua fase terminal. Por fim, as cheias de derrocadas sucedem devido a cedência do obstáculo, provocando grandes ondas de cheias, quase sempre destruidoras. As cheias por derrocada podem ser devidas à cedência de um obstáculo natural, como por exemplo, movimentos de vertente ou devido a ruturas de barragem ou dique (Ramos, 2009).

A duração de uma cheia está intrinsecamente relacionada com as características dos períodos de precipitação antecedentes, tais como o seu número, intensidade e persistência. As cheias podem assim dividir-se em cheias progressivas (ou lentas) e rápidas (ou repentinas).

As cheias progressivas são o resultado de precipitação persistente por vários dias ou mesmo semanas numa grande área (Kron *et al.*, 2012). Estas cheias resultam normalmente da combinação de vários fatores, como por exemplo: as condições meteorológicas, os solos, as medidas de proteção, os usos do solo, a sazonalidade dos regimes, etc. Os períodos longos de precipitação fazem com que o solo se torne completamente saturado, diminuindo a capacidade de infiltração e aumentando o escoamento superficial (Barredo, 2007). Em Portugal, afetam normalmente as grandes bacias hidrográficas do Douro, Tejo, Mondego e Guadiana. Para que o rio Tejo entre em situação de cheia, em território português, é necessário um longo período chuvoso em Portugal e em Espanha, suscitando a saturação progressiva dos solos, o enchimento das albufeiras e o extravaso de vários dos seus grandes afluentes (Ramos, 2005a).

As cheias rápidas são o resultado de precipitação intensa, numa pequena área e num curto espaço de tempo (até 24 horas) (Barredo, 2007; Kron *et al.*, 2012). Os fatores que contribuem para este tipo de evento são a intensidade e duração da precipitação, o declive e as condições à superfície da bacia recetora (Perry, 2000). Estas situações conduzem a pontas de cheias elevadas, nomeadamente quando afetam bacias pequenas, localizadas em áreas de elevadas densidades urbana e populacional, onde a impermeabilização do solo e o confinamento das linhas de água contribuem para a modificação do regime hídrico. Estas bacias, na generalidade, não se encontram dimensionadas para caudais elevados. Este tipo de cheia é normalmente perigoso, porque afeta essencialmente pequenos cursos de água que se

encontram geralmente secos ou com reduzido caudal, levando ao “esquecimento” da sua existência (Ramos, 2005a). O desordenamento do território, através da construção em leitos de cheia, o estrangulamento dos canais ou o entulho acumulado nos mesmos, potencia a dimensão dos danos das cheias. Segundo Ramos & Reis (2001, p. 81): *“o desordenamento do território constitui assim a principal causa das mortes causadas pelas cheias”*. As cheias rápidas, como ocorrem num curto e específico espaço de tempo, são de difícil previsão. A cheia rápida de 1967 que ocorreu na madrugada de 26 de novembro na região de Lisboa foi catastrófica, porque se registou numa área com elevada densidade populacional e urbanização caótica. Na estação do Monte Estoril, no dia 26 de novembro registaram-se 159 mm, dos quais 129 mm em apenas 5 horas. O período de retorno foi calculado em 500 anos e a precipitação registada foi cerca de um quinto da média anual. Morreram cerca de 700 pessoas que viviam em habitações clandestinas nos leitos de cheia (Ramos & Reis, 2001).

Para além da precipitação, as características fisiográficas da bacia como a forma, relevo e densidade de drenagem, determinam a forma do hidrograma de cheia. As características físicas, como a geologia, o solo e o coberto vegetal, determinam os processos de retenção de água na bacia. As características geométricas e físicas da secção transversal dos cursos de água, o transporte sólido e a proximidade de áreas com influência de maré condicionam a velocidade de escoamento e o nível da água (INAG, 2002). Deste modo, a ocorrência de cheias é um processo complexo, geralmente desencadeado pela precipitação mas condicionado por múltiplos fatores.

Neste trabalho será usado o critério de classificação das cheias que atende à sua duração, ou seja, opondo cheias progressivas e cheias rápidas. Para além das cheias, como parte integrante do projeto *DISASTER*, será utilizado também o conceito de inundação urbana. As inundações urbanas podem ocorrer ao fim de algumas dezenas de minutos de precipitação intensa e são agravadas pela impermeabilização do solo e devidas à sobrecarga dos sistemas de drenagem artificiais de águas residuais e pluviais (Costa, 1986; Ramos, 2009). O conceito de inundação urbana refere-se então *“(...) a áreas que são alagadas ou inundadas devido à impermeabilização da superfície e à incapacidade de escoamento do sistema de drenagem de águas pluviais da cidade”*, como afirma Oliveira (2003, p. 20).



## 1.2. Aspetos gerais do clima e da hidrologia na região Norte

Os fatores que mais condicionam as condições climáticas e as diferenças territoriais na região Norte são a orografia e a distância ao oceano Atlântico. Segundo Daveau, Ribeiro, & Lautensach (1988) à medida que caminhamos para leste, verifica-se uma diminuição gradual da intensidade e frequência da penetração das massas de ar atlânticas. O relevo facilita ou dificulta a circulação ou a estagnação das massas de ar, pouco a pouco modificadas pela sua deslocação sobre o continente. Segundo Ferreira (2005, p. 319) *“a organização do relevo, a sua compartimentação, multiplicando as condições de exposição ao sol e aos ventos atlânticos, são alguns dos fatores mais importantes da diferenciação climática de Portugal continental à escala local”*. Os principais relevos com condições para perturbar as baixas camadas de ar concentram-se a Norte do vale do Tejo (Ferreira, 2005). O oceano Atlântico atua como agente moderador da temperatura, tanto sobre os valores mínimos durante o inverno como sobre os valores máximos durante o verão. À medida que caminhamos para o Interior, o arrefecimento durante o inverno e aquecimento durante a época estival é mais sentido, diminuindo o conteúdo de vapor de água no ar (Ferreira, 2005).

Em Portugal, as precipitações diminuem de um modo geral, do litoral para o interior, e do norte para o sul, com exceção das áreas montanhosas. A região Norte caracteriza-se por valores mais elevados de precipitação média anual do país (Santos, 2009). As serras do Gerês, Peneda, Cabreira, Soajo, Alvão e Marão, entre outras, dispõem-se paralelamente à linha de costa, constituindo uma barreira à penetração para o interior de ventos húmidos do Atlântico. Estes sobem pelas encostas voltadas a oeste e originam precipitações mais ou menos abundantes. Para este, o ar torna-se mais seco, porque perdeu humidade ao transpor as montanhas e ao descer nas vertentes orientais comprime-se e aquece adiabaticamente, o que o afasta da saturação. Assim o Nordeste, nomeadamente no alto Vale do Rio Douro e nos vales de alguns dos seus afluentes é uma das regiões mais secas do país. Por outro lado, o Norte encontra-se a maior latitude, e é mais afetado por perturbações frontais, sendo por isso mais pluvioso. O Noroeste é a área onde se verificam valores de precipitação mais elevados, que se acentuam nas montanhas, não muito afastadas do mar (Medeiros, 2000; Santos, 2009). As montanhas do Noroeste constituem a “mãe de água” de Portugal Continental (Ferreira, 2005). Os valores mais elevados de precipitação registam-se no Alto Minho, onde a precipitação média anual é superior a 2500 mm. Na serra da Peneda, Amarela e Gerês, as precipitações são das mais elevadas da Europa Ocidental (Ferreira, 2005). Os valores mais baixos, cerca de 500

mm de precipitação média anual, ocorrem no vale encaixado do rio Douro e seus afluentes. A costa litoral norte é caracterizada por precipitações frequentes ao longo do ano, superiores a 1000 mm (Figura 1.2).

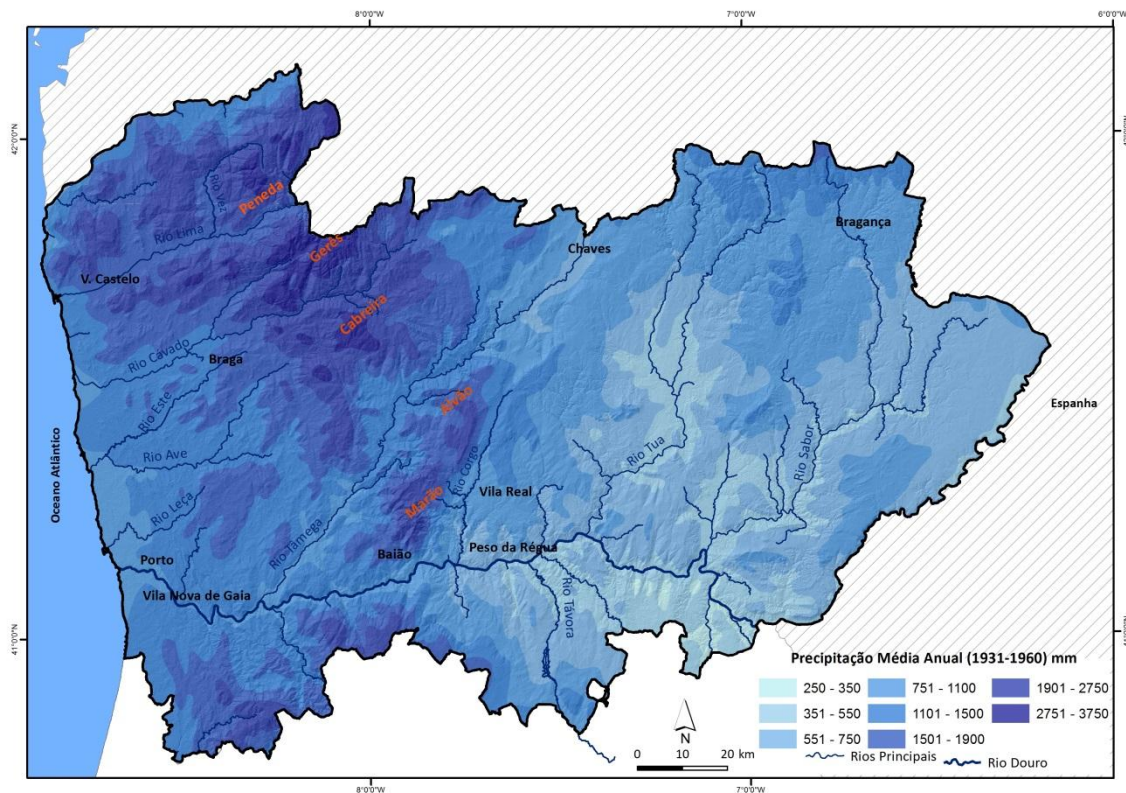


Figura 1.2. Precipitação média anual (1931-1960).

Adaptado de Daveau (1977).

Em paralelo com a distribuição da precipitação encontra-se a distribuição do número de dias com precipitação no ano. É no Noroeste que se registam mais de 100 dias no ano com ocorrência de precipitação enquanto no Nordeste, assinalam-se menos de 75 dias, nomeadamente, no vale do rio Douro (Figura 1.3).

O regime das chuvas em Portugal Continental mostra-nos que há dois períodos distintos no ano: de outubro a fevereiro ou março, uma estação mais chuvosa, e entre abril e setembro, uma estação com défice de precipitação (Ferreira, 2005). Os meses de abril, maio e setembro são meses de transição que podem ser secos, ou pertencerem à estação chuvosa.

As diferenças nos valores de temperatura média do ar explicam-se pela latitude, altitude e influência do oceano Atlântico, que atua como agente moderador da temperatura. A temperatura média do ar no litoral Norte é mais amena do que no interior, que apresenta amplitudes térmicas maiores. A temperatura média no litoral situa-se em 12°C a 15°C e no vale

do Douro é de cerca de 16°C. As áreas montanhosas do Norte registam temperaturas médias entre 7.5 e os 12°C, sendo que no verão, são frescas e no inverno atingem as temperaturas mais baixas, sendo relativamente alto o risco de geada (Figura 1.4).

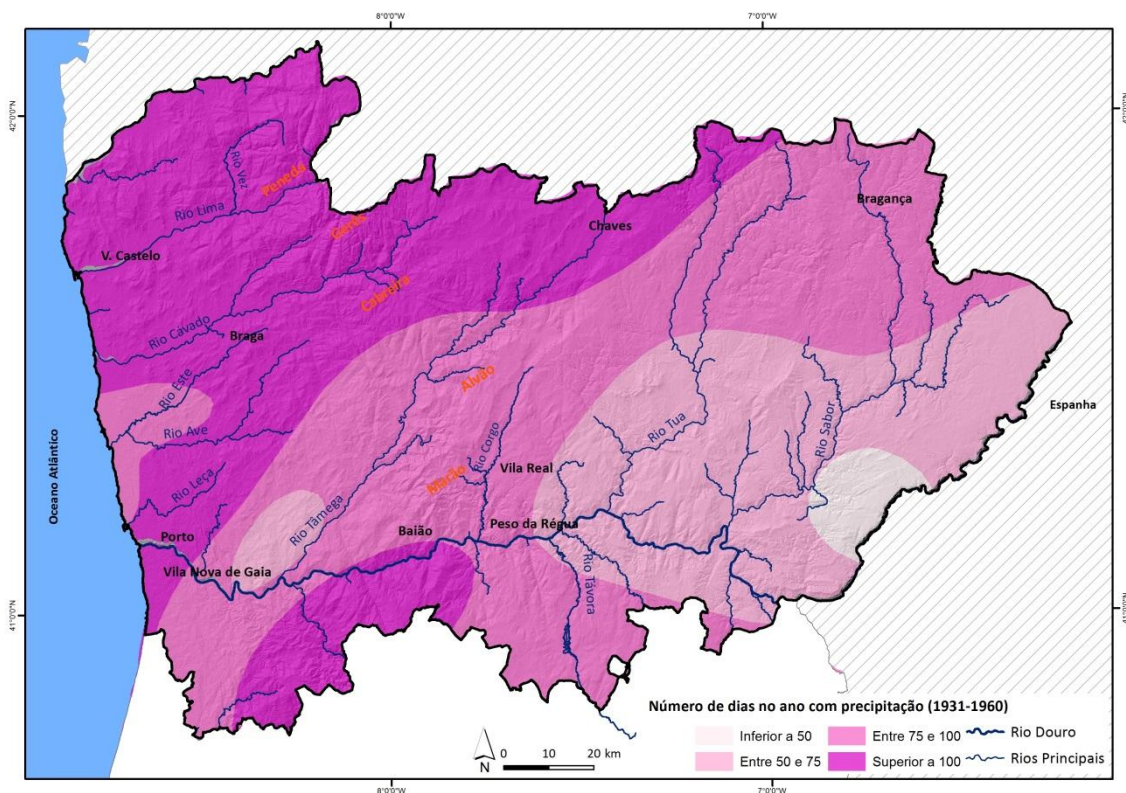


Figura 1.3. Número de dias no ano com precipitação (1931-1960).

Adaptado de Sistema Nacional de Informação de Ambiente, APA.

Deste modo, os valores acumulados e a intensidade diária de precipitação são superiores no Noroeste, nomeadamente nas cadeias montanhosas, geralmente paralelas à linha de costa. Do lado oposto, encontra-se o Nordeste, nomeadamente o vale encaixado do rio Douro, considerada uma das regiões mais secas do país. Uma das características do clima em Portugal é a sua irregularidade, podendo-se verificar em toda a região Norte, episódios prolongados de precipitação potenciadores de cheias progressivas ou episódios de precipitação intensa, por vezes localizados e de curta duração, fomentadores de cheias rápidas.

A rede hidrográfica da região Norte apresenta uma elevada densidade de drenagem fortemente dependente da morfologia do terreno. Identificam-se nove bacias hidrográficas - designadamente as bacias do Rio Douro, Minho, Lima, Cávado, Ave, Leça, Âncora, Neiva e Vouga- sendo que as três primeiras são bacias internacionais (Figura 1.5).



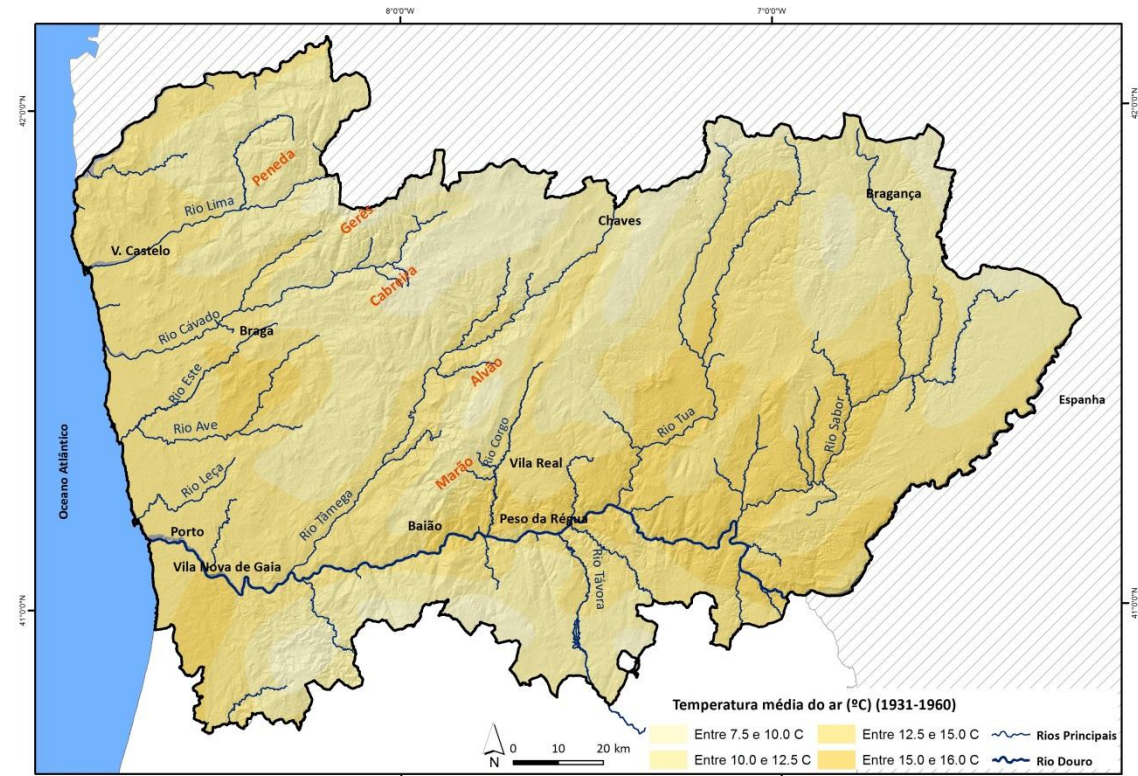


Figura 1.4. Temperatura média diária do ar (°C) (1931-1960).  
Adaptado de Sistema Nacional de Informação de Ambiente, APA.

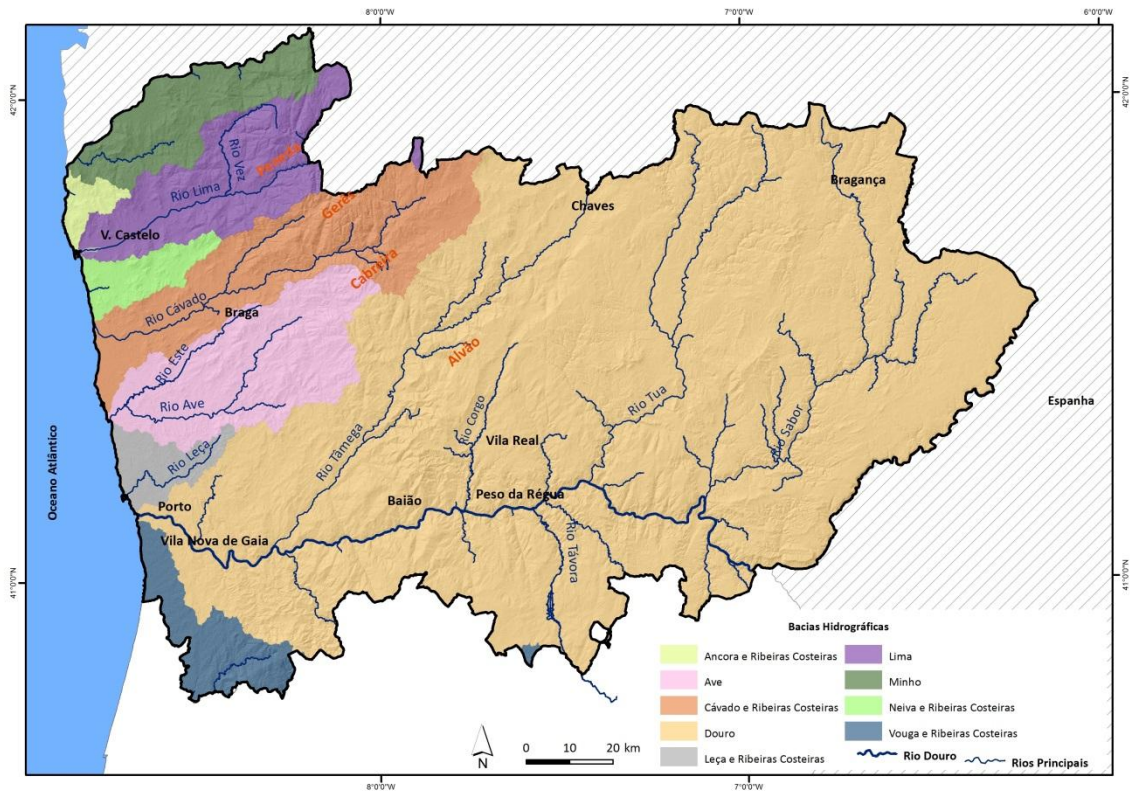


Figura 1.5. Principais bacias hidrográficas na região Norte.

A Figura 1.6 representa os valores médios anuais de escoamento, retirados do Sistema Nacional de Informação de Ambiente da Agência Portuguesa do Ambiente (APA). Pela sua análise podemos verificar que a distribuição geográfica do escoamento é idêntica à da precipitação.

É no Noroeste que se concentram os valores mais elevados de escoamento, superiores a 1000 mm/ano, tal como é a região com valores mais elevados de precipitação, devido ao efeito orográfico das suas montanhas e à passagem de frentes, vindas do Atlântico, associadas às baixas pressões subpolares (Ramos, 2005a). Do lado oposto, encontra-se o Nordeste, com valores de escoamento inferiores a 300 mm/ano, que se encontra protegido pelas montanhas onde as massas de ar perdem a maioria da sua humidade (Ramos, 2005a) (Figura 1.6).

No extremo noroeste da região Norte, encontra-se a bacia hidrográfica do Rio Minho. Esta bacia, partilhada por Portugal e Espanha tem uma área aproximada de 800km<sup>2</sup> no território nacional. O seu curso de água principal, o Rio Minho, tem uma extensão de cerca de 75 km (em território português), desaguando em Caminha, no Oceano Atlântico. No seu percurso inicial caracteriza-se por relevos montanhosos, com abruptos rochosos, sobretudo graníticos e algumas depressões onde prevalecem os depósitos aluviais. Nos sectores mais a jusante, verifica-se uma diminuição da densidade da rede de drenagem, onde os terraços fluviais predominam, especificamente de carácter arenoso. O valor médio anual de escoamento da bacia hidrográfica do rio Minho é na ordem dos 1059 hm<sup>3</sup> (INAG, 2002).

A bacia hidrográfica do Rio Lima ocupa uma área aproximada de 2450 km<sup>2</sup>, sendo cerca 46% (1140 km<sup>2</sup>) da sua área total em Portugal. O curso de água principal é o Rio Lima, com uma extensão de 67 km, desaguando em Viana do Castelo. Esta bacia apresenta maiores declives a montante junto à fronteira com Espanha, principalmente ao atravessar o Parque Natural da Peneda-Gerês enquanto, a jusante os vales são largos e de vertentes suaves. A bacia em Portugal caracteriza-se por um escoamento médio anual de cerca de 1629 hm<sup>3</sup>, destacando-se como principais tributários os rios Estorãos, Trovela, Vez, Vade e Castro Laboreiro.

A bacia hidrográfica do rio Âncora tem uma área aproximada de 128 km<sup>2</sup>, sendo o Rio Âncora o seu curso de água principal. Este rio com cerca de 18 km de extensão nasce na serra de Arga e desagua em Vila Praia de Âncora. O escoamento anual na foz do rio é cerca de 65 hm<sup>3</sup> (INAG, 2002).

A bacia hidrográfica do rio Neiva apresenta uma área aproximada de 290 km<sup>2</sup>. O seu rio principal, o rio Neiva, nasce no cimo da serra de Oural a 700 m de altitude. Depois de percorrer cerca de 45 km desagua entre Castelo do Neiva (freguesia situada na margem direita, concelho

de Viana do Castelo) e Antas (situada na margem esquerda, concelho de Esposende). O escoamento anual na foz do rio Neiva tem uma probabilidade de ser superior a  $170 \text{ hm}^3$  (INAG, 2002).

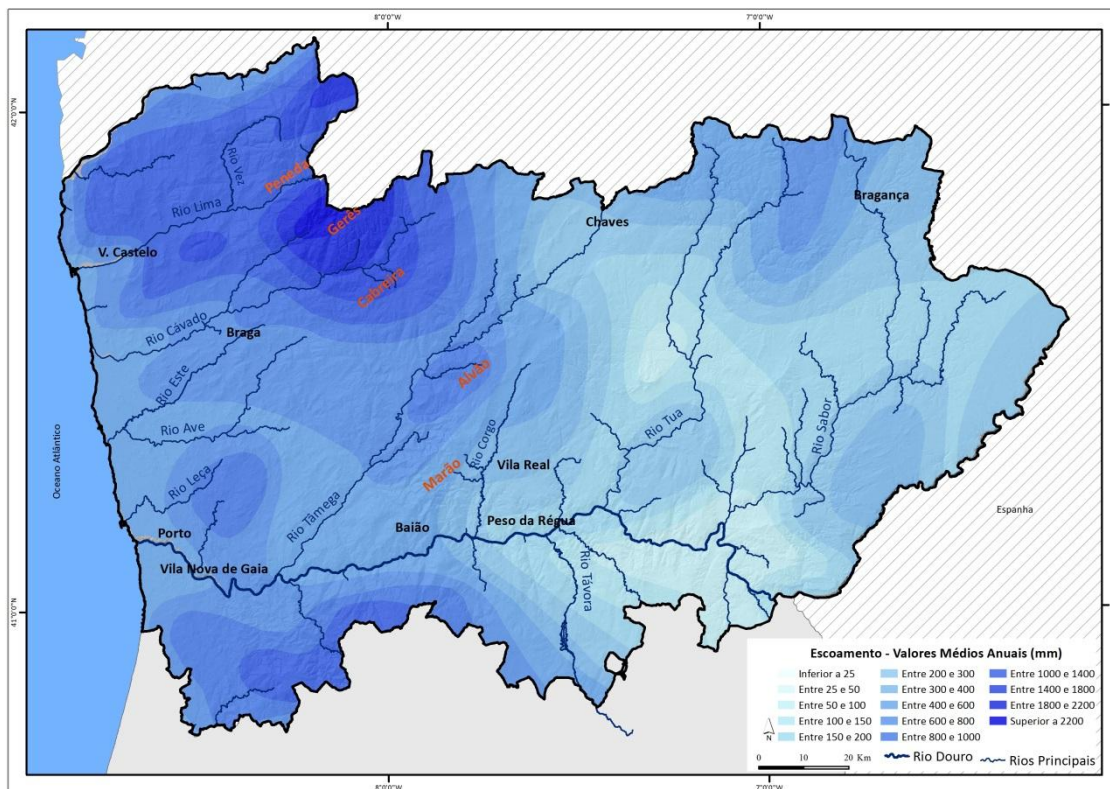


Figura 1.6. Valores médios anuais de escoamento na região Norte.

Adaptado de Sistema Nacional de Informação de Ambiente, APA.

A bacia hidrográfica do Rio Cávado tem uma área aproximada de  $1664 \text{ km}^2$ , sendo que o curso principal percorre cerca de 129 km da nascente na Serra do Larouco até à foz em Esposende. Em termos morfológicos, a bacia hidrográfica apresenta um relevo bastante encaixado em todo o maciço do Gerês, onde predominam as vertentes muito abruptas levando a um processo de escoamento mais rápido. Mais a jusante, os declives são mais suaves conduzindo a vales mais aplanados e a uma diminuição da densidade da rede de drenagem. Para além do rio Cávado, destacam-se dois afluentes: na margem direita, o rio Homem, que nasce na Serra do Gerês e tem uma extensão de 45 km, drenando uma área de  $256 \text{ km}^2$ ; e na margem esquerda, o rio Rabagão, que nasce entre as Serras do Barroso e Larouco com um comprimento de 37 km e drena uma área de  $248 \text{ km}^2$ . Em termos de escoamento médio anual, a bacia drena cerca de  $2099 \text{ hm}^3$  (INAG, 2002).



A bacia hidrográfica do rio Ave caracteriza-se por uma área aproximada de 1390 km<sup>2</sup>, sendo que o curso principal se desenvolve ao longo de 101 km desde a Serra da Cabreira até Vila do Conde. O rio Ave percorre na maioria da sua extensão num vale encaixado, apresentando uma altitude média de 268 m. Nesta bacia, destacam-se os afluentes, rios Este e Vizela, com áreas aproximadas de 247 km<sup>2</sup> e 340 km<sup>2</sup>, respetivamente. É uma bacia hidrográfica com um escoamento médio anual de cerca de 1228 hm<sup>3</sup>, sendo fortemente urbanizada, o que incute algumas alterações ao comportamento natural nas variações dos caudais (INAG, 2002).

A bacia mais pequena da região Norte é a bacia do rio Leça e ribeiras costeiras com uma área aproximada de 235km<sup>2</sup>. O curso principal nasce em Santo Tirso, percorrendo cerca de 48 km até à foz, em Matosinhos. Esta bacia caracteriza-se por um relevo mais vigoroso junto à nascente e o seu percurso é marcado por uma série de estrangulamentos. O sector terminal da bacia nos concelhos da Maia e Matosinhos está fortemente artificializado, conduzindo a uma série de problemas na dinâmica hidrológica (Bateira *et al.*, 2007), como por exemplo cheias. O escoamento médio ronda os 104hm<sup>3</sup> (INAG, 2002).

A bacia hidrográfica de maior dimensão é a do rio Douro com uma área aproximada de 18.700 km<sup>2</sup> no território português (19% da área total). O seu curso principal, rio Douro, percorre no território nacional cerca 208 km e apesar de apresentar um regime natural de escoamento potencialmente rápido, a construção de barragens diminuiu fortemente a sua velocidade. Contudo, é condicionado pela variabilidade da precipitação, tanto em Portugal como em Espanha. O escoamento médio é de 9152 hm<sup>3</sup>, sendo o maior valor registado da totalidade das bacias Portuguesas (INAG, 2002).

Se analisarmos a produtividade de água por unidade de área (l/m<sup>2</sup>), ou seja, o escoamento superficial específico, são as bacias do Noroeste: Minho, Lima e Cávado que apresentam os valores mais elevados do continente, com mais de 1000 l/m<sup>2</sup> por ano. Estes valores escondem grandes variações interanuais, devido ao ritmo e quantidade da precipitação. Do mesmo modo ocorrem, variações estacionais. A época de abundância ocorre de dezembro a abril, sendo que para algumas bacias se inicia no mês de novembro, enquanto a época da escassez ocorre nos meses de julho, agosto e setembro (Ramos, 2005a). Exemplo disso é o rio Lima que escoar, em média em Ponte de Lima, 30 vezes mais água no mês de fevereiro, que em agosto (Daveau, 2000). As bacias do extremo Noroeste, ou seja, Minho, Lima e Cávado localizam-se nas áreas mais chuvosas do país e apresentam os valores mais elevados de escoamento superficial específico. São também as bacias com menor irregularidade interanual, ou seja o escoamento do ano mais húmido excede apenas 3 a 4 vezes, o do ano mais seco, mas exibem um período de estio com a duração de 3 meses (Ramos, 2005a).

### 1.3. Condições atmosféricas na origem de cheias na região Norte

As cheias nos maiores rios como o Douro, Minho, Lima e Cávado são produzidas por períodos longos de precipitação que envolvem grandes áreas. Os episódios de precipitação sucessivos, nomeadamente no inverno, provocam um aumento do teor de água no solo, uma diminuição da sua capacidade de infiltração e um fomento do volume de água armazenado nas albufeiras existentes. Quando estes episódios de precipitação se prolongam por semanas, os caudais aumentam lentamente para valores próximos da capacidade de vazão dos cursos de água, pelo que a ocorrência de um evento pluvioso mais intenso dará origem ao transbordo do leito dos cursos de água (INAG, 2002). Em Portugal continental, as cheias progressivas estão relacionadas com a permanência da circulação zonal de oeste. Neste tipo de circulação, ocorrem precipitações frontais provocadas pela passagem sucessiva de depressões subpolares e sistemas frontais a elas associados. Neste caso, estas depressões circulam a latitudes mais baixas (entre 40º e 45º N), em vez de circularem normalmente à latitude das Ilhas Britânicas (Ramos & Reis, 2001). No caso dos rios internacionais, deve-se ter em conta também a precipitação registada em Espanha. Os sistemas frontais que atravessam Portugal tomam geralmente a direção a Leste, pelo que, os mesmos afetam boa parte do território espanhol, verificando-se, um aumento dos caudais nas secções fronteiriças, por vezes significativos, quando as barragens espanholas esgotam a sua capacidade de armazenamento (APA, 2015). Assim, as cheias progressivas são o resultado de longos períodos de precipitação que podem durar semanas.

As cheias rápidas estão associadas a episódios de precipitação intensa quando a capacidade de escoamento dos rios mais pequenos é insuficiente para drenar o volume de água, levando ao seu transbordo. A ocorrência de cheias rápidas é muitas vezes agravada pela construção e ocupação das áreas envolventes aos cursos de água (INAG, 2002). As cheias rápidas estão muitas vezes, relacionadas com a influência de depressões convectivas: gotas de ar frio, particularmente ativas ou depressões resultantes da interação das circulações polar e tropical. As gotas de ar frio resultam da invasão de ar frio polar ou ártico em altitude, que se pode estender até latitudes subtropicais. São mais frequentes no Sul do país, nomeadamente no Alentejo e Algarve (Fragoso, 2003). A precipitação mais intensa regista-se quando existe um forte gradiente vertical da temperatura entre a advecção fria em altitude e o ar quente e húmido da baixa troposfera, que fornece o vapor de água necessário às condensações abundantes (Ventura, 1987). Segundo Ramos & Reis (2001, p. 64) “o outono é a época do ano



*mais problemática não só porque o oceano tem uma maior quantidade de calor armazenada, mas também porque o enfraquecimento do anticiclone dos Açores e a intensificação da circulação meridiana favorece a individualização das gotas frias*". As depressões convectivas que resultam da interação da circulação polar e tropical ocorrem com mais frequência em novembro, apesar de uma grande variabilidade interanual, uma vez que o seu aparecimento depende da intensidade convectiva da convergência intertropical e da sua interligação com as invasões de ar frio (Ferreira, 1985). As situações de cheias rápidas, dependendo da dimensão da bacia e da intensidade do episódio de precipitação, podem incitar um aumento repentino do caudal em poucas horas.

#### 1.4. Síntese do conhecimento atual sobre as cheias em Portugal: o caso das bacias da região Norte

Na base de dados internacional sobre desastres (EM-DAT), estão registadas 13 cheias de 1900 a 2013, em Portugal (Santos *et al.*, 2014). No entanto, os critérios são restritivos, ou seja, uma ocorrência é apenas inventariada se as suas consequências correspondem a um dos seguintes critérios: 10 ou mais vitimas mortais; existência de 100 ou mais pessoas afetadas; declaração do estado de emergência ou pedido de ajuda internacional. De acordo com estes critérios, as cheias em Portugal, provocaram 596 vítimas mortais, sendo que 53534 pessoas foram afetadas pelas mesmas. De todos os desastres naturais ocorridos em Portugal, as cheias são o desastre natural mais frequente, sendo o segundo que mais vítimas mortais causa, que mais pessoas afeta e que mais prejuízos provoca (Quadro 1.1). Dos 13 eventos referidos na EM-DAT, cinco registaram-se na região Norte.

Quadro 1.1. Desastres Naturais em Portugal, entre 1900 e 2013.

Tipo	Nº de Eventos	Nº de Mortos	Nº de Afetados	Prejuízos (000 US\$)
Secas	3	-	-	1443136
Vaga de Frio	2	-	-	-
Onda de Calor	2	2737	-	-
Cheias	13	596	53534	1493100
Tempestades	5	47	270	295000
Incêndios Florestais	8	60	150186	3475000

Fonte: EM-DAT (2014).

O Sistema Nacional de Recursos Hídricos (SNIRH) através do Atlas da Água (SNIRH, 2010), assinala as grandes áreas inundáveis em Portugal Continental, destacando-se as áreas potencialmente inundáveis em caso de rutura de barragens e alguns pontos críticos de pequenas ribeiras onde já se verificaram cheias rápidas (Figura 1.7). As áreas críticas sujeitas a inundações localizam-se nas áreas terminais dos rios Lima, Cávado, Ave e Douro, nomeadamente nos concelhos de Viana do Castelo, Esposende, Vila do Conde, Porto e Vila Nova de Gaia, respetivamente. Para além destas áreas, também se evidenciam áreas sujeitas a inundações no concelho de Chaves, no rio Tâmega e em Peso da Régua, no rio Douro. Na região Norte, segundo este trabalho, estão apenas identificadas duas áreas de inundações com um período de retorno de 100 anos: em Mirandela, no rio Tua e nos concelhos de Vila Flor e Torre de Moncorvo, no rio Sabor (Figura 1.7).

O PNA (2002) efetuou um levantamento das principais vulnerabilidades presentes nas bacias hidrográficas face ao risco de cheia até 2000/2001. Esta avaliação inclui as populações afetadas, tipo de edifícios, zonas agrícolas e agropecuárias, infraestruturas e equipamentos diversos. Este plano refere os pontos críticos para cada bacia:

- Rio Minho: as áreas mais afetadas localizam-se na área ribeirinha da margem nacional do curso principal, com destaque para Valença, Vila Nova de Cerveira e Monção;
- Rio Lima: Ponte de Lima, Ponte da Barca e Arcos de Valdevez são as áreas urbanas mais afetadas pelas cheias;
- Rio Cávado: os concelhos de Braga, Barcelos, Guimarães, Vieira do Minho, Terras do Bouro e Esposende são dos mais afetados;
- Rio Ave: alguns municípios da bacia são afetados por cheias, geralmente de curta duração;
- Rio Leça: a parte final da bacia, nomeadamente na Maia é a mais vulnerável a cheias;
- Rio Douro: as localidades como Porto, Vila Nova de Gaia e Peso da Régua, no rio Douro, e Chaves e Amarante, no Tâmega, são as mais afetadas pelas cheias (INAG, 2002).

Segundo o Plano Regional de Ordenamento do Território do Norte (PROT-N) (Bateira *et al.*, 2007) a totalidade do rio Minho, nomeadamente onde a ocupação urbana condiciona e facilita situações de risco: os concelhos de Valença, Vila Nova de Cerveira, Monção são locais afetados por cheias progressivas. Na bacia do rio Lima, destacam-se as áreas ribeirinhas dos concelhos de Ponte da Barca, Ponte de Lima e Viana do Castelo, bem como ao longo do rio Vez no concelho de Arcos de Valdevez.

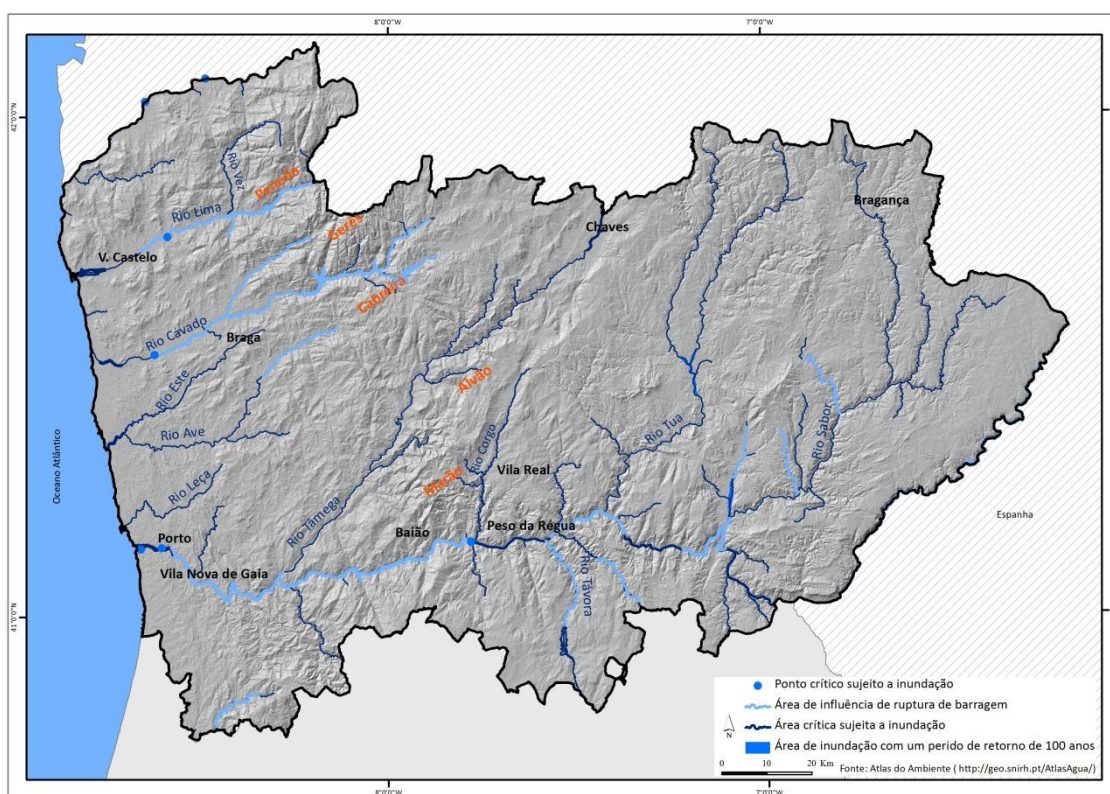


Figura 1.7. Áreas de inundação devido às cheias na região Norte.

Fonte: Atlas da Água.

Quanto ao rio Cávado merece especial atenção, o sector terminal do rio, junto a Esposende e nas sub-bacias destacam-se as áreas urbanas de Braga, Barcelos, Guimarães, Vieira do Minho e Terras do Bouro. Na bacia do rio Ave, devem-se realçar os concelhos de Santo Tirso, Guimarães, Trofa e Pova do Lanhoso, bem como a área urbana central de Braga (rio Este) e o troço de transição entre o concelho de Vizela e Santo Tirso (rio Vizela). Na bacia do rio Leça merecem particular destaque os sectores ao longo de todo o concelho da Maia, a área terminal do concelho de Santo Tirso e alguns locais pontuais de Matosinhos. Os locais mais suscetíveis à ocorrência de cheias progressivas no rio Douro são a área ribeirinha do Peso da Régua, Penafiel (Entre-os-Rios), Castelo de Paiva e as ribeiras do Porto e de Vila Nova de Gaia. Na sub-bacia do Tâmega destacam-se os concelhos de Chaves e Amarante, enquanto na sub-bacia do Tua, é de realçar o concelho de Mirandela. Relativamente às cheias rápidas, o PROT-N destaca como os cursos de água mais suscetíveis, os de primeira ordem, onde o relevo é acentuado e os declives fortes, que perante situações de precipitação extremas, desenvolvem processos de escoamento superficial muito rápidos e torrenciais.

O rio Douro é o rio mais caudaloso e o que drena a bacia mais extensa da Península Ibérica. O regime do rio apresenta um caudal 10 vezes superior em fevereiro do que em agosto. As

cheias no Douro acontecem com irregularidade, podendo passar mais de 10 anos sem ocorrer nenhuma (Daveau, 2000). Segundo Daveau (2000), a cheia maior registou-se em dezembro de 1739, com um caudal que terá chegado aos 19000 m<sup>3</sup>/s, na cidade do Porto. Para Silva & Oliveira (2001), esta cheia, em 1739, foi também a maior cheia registada no Douro com um caudal de 18000 m<sup>3</sup>/s. De seguida, as maiores cheias em termos de caudal foram as de dezembro de 1909 e a de janeiro de 1962 (Silva & Oliveira, 2001) (Quadro 1.2). No rio Douro a altura das cheias, nas áreas de vale mais encaixado atinge os 20 a 25 m, como na Régua e 10 a 12 metros no Porto (Daveau, 2000). Segundo Silva & Oliveira (2001) na cheia de 1909 não foram medidos valores de precipitação muito elevados. No entanto, as precipitações ocorreram nos 10 dias que antecederam a cheia e cobriram uma extensa área, sendo que o volume precipitado a montante de Atães (Gondomar) foi estimado em cerca de 13000<sup>6</sup>x10 m<sup>3</sup> (Silva & Oliveira, 2001).

Quadro 1.2. Caudais de ponta de cheias históricas do rio Douro, na Régua.

Ano	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Ano	Caudal (m <sup>3</sup> /s)	Ano	Caudal (m <sup>3</sup> /s)
<b>1727</b>	14000	<b>1855</b>	12500	<b>1962</b>	15700
<b>1739</b>	18000	<b>1860</b>	15100	<b>1966</b>	12500
<b>1788</b>	15500	<b>1877</b>	13500	<b>1978</b>	11600
<b>1823</b>	15600	<b>1888</b>	11800	<b>1979</b>	11000
<b>1843</b>	13000	<b>1909</b>	16700	<b>1989</b>	11800
<b>1850</b>	13900	<b>1910</b>	13700		

Adaptado de Silva & Oliveira (2001).

O Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas (PGBH) que integra a região hidrográfica (RH) do Douro (RH3) (2012b) refere que as cheias que se registaram estão associadas a precipitações intensas de grande duração e que afetaram extensas áreas, sendo que a maior contribuição da precipitação registou-se no terço final da bacia do rio Douro. A cheia de 1962, associada a um período de retorno de 100 anos, caracterizou-se pelo registo de precipitação essencialmente na parte ocidental da bacia do Douro (Silva & Oliveira, 2001). A contribuição maior para as cheias do terço final da bacia, deve-se à ocorrência de precipitação mais elevada e às características geomorfológicas e orográficas desta área com um relevo acidentado, vales encaixados e baixa permeabilidade do solo (APA, 2012b), razão pela qual, o Douro recebe os tributários mais caudalosos neste sector ocidental. No rio Douro existem 15 barragens, sete em Espanha e oito em Portugal (Bastos *et al.*, 2012). O mesmo plano refere que as barragens que existem tanto em Portugal como em Espanha possuem uma “capacidade reduzida para amortecimento das cheias e baixa capacidade de regularização dos caudais” (APA, 2012b, p.

162). Neste plano são identificadas as áreas inundáveis na bacia, com base em áreas identificadas noutros planos elaborados anteriormente. As áreas inundáveis são então: Mirandela, Macedo de Cavaleiros, Rio Sabor/Ribeira da Vilariça, Chaves, Régua, Cabeceiras de Basto/Ribeira de Pena, Amarante, Castelo de Paiva, Paços de Ferreira/ Lousada/ Paredes/ Penafiel, Arouca e ribeira do Porto. As cheias de maior magnitude, nas principais cidades da bacia hidrográfica do Douro, estão identificadas em alguns edifícios afetados, como é o caso da cidade de Amarante, onde estão marcadas as cheias de 2001, 1939, 1909 e 1962 (Gomes & Costa, 2004; Tedim, 2010). Segundo Costa (2008) as cheias sempre assolaram vastas áreas do rio Tâmega, sobretudo no centro urbano de Amarante. A cheia de 2001, em Amarante, causou no dia 21 de março, o valor máximo de caudal de 2600 m<sup>3</sup>/s, enquanto na cheia de 1962, este valor situou-se nos 1961 m<sup>3</sup>/s (Gomes & Costa, 2004).

O PGBH que integram a RH do Cávado, Ave e Leça (RH2) também identifica as áreas inundáveis na região, sendo elas no vale do Cávado, a cidade de Esposende, a confluência do rio Este com o rio Guisando, a cidade de Guimarães, Santo Tirso e Vila do Conde, devido às cheias do rio Ave, rio Pelhe/rio Pele em Vila Nova de Famalicão e o rio Leça na Maia (APA, 2012a). A presença dos aproveitamentos hidráulicos na bacia do rio Ave apresenta uma nula capacidade de amortecimento das cheias, quer pela sua limitada capacidade de armazenamento, quer por se localizarem nas cabeceiras da bacia. O mesmo não acontece na bacia do rio Cávado. As suas barragens apresentam uma capacidade de armazenamento mais elevada, o que poderá ter influência no amortecimento de cheias, especialmente para precipitações com períodos de retorno baixos (APA, 2012a). Segundo Velhas (1991) a ocorrência de cheias no rio Leça é um fenómeno muito frequente, em resultado do regime da precipitação e de morfologia do terreno.

O PGBH que integram a RH do Minho e Lima (RH1) refere que as cheias nesta região “*estão associadas a precipitações do tipo frontal agravadas por fenómenos de ascensão orográfica e de convecção térmica*” (APA, 2012c, pp. 137,138). As áreas inundáveis identificadas neste plano referem-se aos vales dos rios Mouro e Gadanha, afluentes do rio Minho, Caminha, devido às cheias no rio Minho, rio Âncora, no rio Vez, em Arcos de Valdevez, no rio Lima, em Ponte da Barca, Ponte de Lima e Viana do Castelo (APA, 2012c). Na bacia hidrográfica do rio Minho, existe apenas aproveitamento hidroelétrico, em Espanha, mas com uma capacidade baixa de amortecimento de cheias. Oliveira (2001) refere que a cheia mais importante que ocorreu no rio Minho registou-se a 7 de fevereiro de 1979, com um caudal máximo de 4898 m<sup>3</sup>/s. Na bacia hidrográfica do rio Lima, as maiores cheias devem-se ao escoamento gerado na parte central da bacia, devido o registo de precipitações elevadas, a maior capacidade de

escoamento superficial e à elevada velocidade de propagação dos caudais, em resultado do relevo acidentado, dos vales profundos e encaixados e da baixa permeabilidade da região (APA, 2012c). As barragens presentes no rio Lima podem apresentar algum efeito no amortecimento das cheias, nomeadamente a barragem do Alto Lindoso e as barragens da parte espanhola da bacia. O aproveitamento hidroelétrico do Alto Lindoso poderá ser importante na redução das pontas de cheias, nomeadamente nas de menor período de retorno ou as que possam ocorrer no início do ano hidrológico (APA, 2012c). Na cidade de Ponte de Lima existem marcas do nível de altura atingidas pelas cheias de 22 de dezembro de 1909 (7,15 m) e 15 de novembro de 1987 (5,65 m) (Costa *et al.*, 2012). Deste modo, todos os trabalhos aqui referidos apresentam na sua maioria os mesmos locais mais suscetíveis de ocorrerem cheias na região Norte.

### 1.5. Conclusão

Neste capítulo começamos por abordar o conceito de cheia, os seus tipos e principais características. De seguida, examinamos os aspetos particulares da variação espacial do clima no Norte de Portugal, marcado pela irregularidade e discrepâncias entre o Noroeste e Nordeste. O Noroeste caracteriza-se por valores de precipitação mais elevados, nomeadamente, nas cadeias montanhosas, geralmente paralelas à linha de costa. O Nordeste, principalmente o vale encaixado do rio Douro, é considerado uma das regiões mais secas da região. Deste modo, na região Norte, podem ocorrer episódios prolongados de precipitação potenciadores de cheias progressivas ou episódios de precipitação intensa, localizados e de curta duração, desencadeantes de cheias rápidas.

O conhecimento de cheias na região Norte estava condicionado à base EM-DAT, aos PGBH e ao PROT-N. Com o objetivo de colmatar esta falta de informação referente a eventos passados surgiu o projeto *DISASTER - Desastres naturais de origem hidro-geomorfológica em Portugal: base de dados SIG para apoio à decisão no ordenamento do território e planeamento de emergência*, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia (PTDC/CS-GEO/103231/2008). Este trabalho, com a inventariação de cheias registadas desde 1865, será objeto de apreciação mais detalhada no capítulo seguinte.

---

## Capítulo 2. Constituição e descrição da base de dados de cheias na região Norte

Este capítulo aborda a construção de uma base de dados sobre cheias na região Norte (BDC-N). Esta BDC-N tem como objetivo armazenar, visualizar, manipular informação geográfica para a análise do risco de cheias à escala regional. A sua construção teve em conta os principais fatores condicionantes (morfologia, geologia e declives, uso do solo), fator desencadeante (precipitação) e danos causados. Pretende-se que esta BD possibilite uma permanente atualização à medida que se registarem novas ocorrências de cheias. Esta BD só foi possível graças ao projeto *DISASTER*. O registo de ocorrências é importante, sob a hipótese de que os eventos naturais ocorrerão no futuro, em circunstâncias semelhantes a que levaram a acontecimentos passados (Guzzetti & Tonelli, 2004). É através desta informação que podemos estudar a probabilidade de ocorrência de novos eventos. Assim, o projeto *DISASTER*, construiu uma base de dados geográfica (BDG) sobre desastres hidrológicos (cheias) e geomorfológicos (movimentos de massa em vertente) registados no território continental entre 1865 e 2010, de forma a providenciar um suporte fiável para o processo de avaliação do risco e um ponto de partida para a aplicação de medidas de mitigação e redução de desastres. Esse projeto resultou de uma colaboração entre o Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa, o Centro de Estudos Sociais da Universidade de Coimbra, o Departamento de Geografia da Faculdade de Letras da Universidade do Porto e o Instituto Dom Luís da Universidade de Lisboa.

No âmbito do projeto *DISASTER*, realizou-se uma pesquisa exaustiva em várias fontes sobre a definição de desastre aplicada por diferentes instituições, seguradoras e investigadores. Desta pesquisa e da reflexão nela fundamentada resultou o conceito a aplicar no contexto da BD de eventos hidro-geomorfológicos de Portugal Continental. Assim, foram registadas as ocorrências que tenham resultado em mortos, feridos, desaparecidos, evacuados ou desalojados, independentemente do número de afetados e do valor económico dos danos. A BDC-N pretende incluir as ocorrências registadas na base de dados *DISASTER*, mas também todas as ocorrências mencionadas nas fontes que provocaram algum tipo de dano material. Deste modo a BDC-N tem por base o projeto *DISASTER*, mas alarga o conjunto de ocorrências às que são referidas nos jornais e provocaram algum tipo de dano.



Nos pontos seguintes descreve-se a modelação da estrutura da BD, a pesquisa de ocorrências, a compilação de informação cartográfica, o preenchimento, georreferenciação das ocorrências e a análise dos resultados.

### 2.1. Modelação conceptual e física da base de dados

Uma BD é um conjunto de informação, organizada de modo a poder ser expandida, atualizada e pesquisada para as mais diversas áreas. Uma BD é projetada, construída e preenchida com dados para um objetivo específico, tendo um grupo de utilizadores potenciais, podendo conter algumas aplicações pré-concebidas em função dos interesses desses mesmos utilizadores (Elmasri & Navathe, 2011). Segundo Devoli *et al.* (2007) constitui uma primeira abordagem para qualquer estudo sobre riscos. Um Sistema Gestor de Bases de Dados (SGBD) é o programa que gere a estruturação, o armazenamento e o acesso aos dados. As bases de dados possuem bastantes vantagens, como por exemplo: o controlo da redundância; a restrição do acesso não autorizado à informação; proporciona estruturas de armazenamento e técnicas de pesquisa para o eficiente processamento de consultas; fornecer *backup* e recuperação dos dados; permite o uso de múltiplos interfaces por parte do utilizador e impõe restrições de integridade, permitindo a inferência e ações usando regras (Elmasri & Navathe, 2011). No entanto, estes sistemas também apresentam algumas desvantagens, que segundo Longley *et al.* (2005), relacionam-se com o custo elevado de aquisição e manutenção e aumento da complexidade na gestão da informação, especialmente em projetos pequenos. Uma BD que alberga informação geográfica tem vantagens adicionais como por exemplo:

- A localização dos dados, num único local, reduzindo a redundância;
- Os custos de manutenção diminuem, devido à melhor organização e redução da duplicação dos dados;
- A partilha da informação entre todos os utilizadores;
- A segurança dos dados, garantida através de aplicação de normas;
- O conhecimento entre utilizadores pode ser transferido mais facilmente entre aplicações porque a BD mantém-se constante;
- As múltiplas aplicações podem usar a mesma informação, podendo desenvolver-se separadamente ao longo do tempo (Longley *et al.*, 2005).

Para a construção da BD foi produzido um modelo conceptual e lógico, através da abordagem entidade-relacionamento (E-R). Este modelo permite esquematizar o modelo de dados,



através da definição de entidades, dos seus atributos e dos relacionamentos que possuem entre si (Chen & Pin-Shan, 1976).

O modelo lógico de dados, visível na Figura 2.1, compreende a descrição da estrutura, exibindo os objetos, as suas características e os seus relacionamentos (10), resultando numa representação gráfica dos dados, de acordo com as regras e restrições estabelecidas pelo programa utilizado (Microsoft Access, versão 2010).

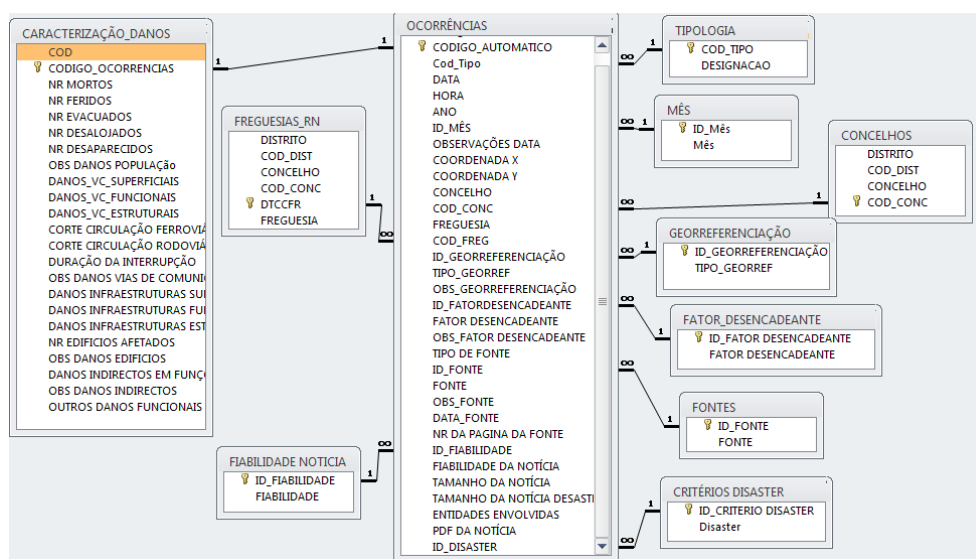


Figura 2.1. Esquema de Relações da BDC-N em Access (modelo lógico de dados).

Os dados estão organizados em tabelas, cujas linhas correspondem a ocorrências e as colunas, a características desses registros. Foi elaborada uma dicionarização dos campos, possibilitando a definição objetiva e inequívoca dos conceitos e facilitando o uso da BD por múltiplos utilizadores. A dicionarização dos atributos encontra-se na coluna descrição, na estrutura das tabelas na BDC-N (Figura 2.2). Realizou-se também a normalização da BD, com o objetivo de eliminar redundâncias e inconsistências dos dados. O processo de normalização aplica uma série de regras sobre as tabelas da BD, para verificar se estão corretamente definidas (Codd, 1970).

Nome do campo	Tipo de dados	Descrição
HORA	Texto	HORA DA OCORRÊNCIA
ANO	Número	ANO
ID_MÊS	Número	CÓDIGO DO MÊS
OBSERVAÇÕES DATA	Texto	OBSERVAÇÕES RELATIVAS À DATA DE OCORRÊNCIA
COORDENADA X	Número	COORDENADA X (Lisboa Hayford Gauss IGeoE)
COORDENADA Y	Número	COORDENADA Y (Lisboa Hayford Gauss IGeoE)
CONCELHO	Texto	CONCELHO ONDE OCORREU A OCORRÊNCIA
COD_CONC	Número	CÓDIGO DO CONCELHO ONDE OCORREU A OCORRÊNCIA
FREGUESIA	Texto	FREGUESIA ONDE OCORREU A OCORRÊNCIA
COD_FREG	Número	CÓDIGO DA FREGUESIA ONDE OCORREU A OCORRÊNCIA
ID_GEORREFERENCIAÇÃO	Número	CÓDIGO DO TIPO DE GEORREFERENCIAÇÃO
TIPO_GEORREF	Texto	TIPO DE GEORREFERENCIAÇÃO
OBS_GEORREFERENCIAÇÃO	Texto	OBSERVAÇÕES DA LOCALIZAÇÃO MAIS PRECISA, COMO POR EXEMPLO RUA, LUGAR, ....
ID_FATORDESENCADEANTE	Número	CÓDIGO DO FATOR DESENCADEANTE DA OCORRÊNCIA
FATOR_DESENCADEANTE	Texto	FATOR DESENCADEANTE DA OCORRÊNCIA

Figura 2.2. Exemplo da dicionarização da tabela das ocorrências de cheias da BDC-N.

Foram criados três formulários para simplificar o preenchimento das ocorrências de cheias: menu principal, ocorrências e danos. Os formulários possibilitam a inserção dos dados de forma rápida e acessível a todos os utilizadores. O formulário do menu principal é um painel de navegação que abre os outros formulários (Figura 2.3).

O formulário de ocorrências (Figura 2.4) permite a inserção de danos nos seguintes campos: código, data e hora, tipo de ocorrência, concelho, freguesia, coordenadas X e Y, observações relativas à data da ocorrência, observações relativas à georreferenciação, tipo de georreferenciação, data da fonte, observações relativas à fonte, fonte, número de página da fonte, fator desencadeante, observações relativas ao fator desencadeante, entidades envolvidas, tamanho da notícia, fiabilidade da notícia, codificação se a ocorrência cumpre os critérios *DISASTER* ou não e *PDF (Adobe Acrobat® Portable Document Format)* da notícia. Este formulário foi o primeiro a ser preenchido, uma vez que o formulário dos danos depende deste.



Figura 2.3. Menu principal dos formulários da BDC-N.

Figura 2.4. Formulário de ocorrências da BDC-N.

O formulário dos danos serve para o registo das consequências provocadas pela ocorrência de cheia, com os seguintes campos: código, danos na população: número de mortos, feridos, desaparecidos, evacuados ou desalojados, observações relativas a danos na população; danos nas vias de comunicação: superficiais, funcionais, estruturais, corte da circulação rodoviária, corte da circulação ferroviária, duração da interrupção, observações relativas a danos nas vias de comunicação; danos em infraestruturas: superficiais (danos pouco profundos e sem severidade), funcionais, estruturais, número de edifícios afetados, observações relativas a danos nos edifícios; outros danos; observações relativas a outros danos (Figura 2.5).

**Cheias na Região Norte**

**Danos**

Código

**Danos na População**

Número de Mortos

Número de Feridos

Número de Evacuados

**Danos em Vias de comunicação**

☒ Superficiais ☒ Funcionais

☒ Estruturais

Corte da circulação Rodoviária ☒

Corte da circulação ferroviária ☐

Menu Principal      SAIR

Figura 2.5. Formulário de danos das ocorrências da BDC-N.

O passo seguinte foi ligar a BDC-N a um Sistema de Informação Geográfica (SIG), através do *software ArcGis 10*. Dentro das bases de dados geográficas (*geodatabases*) é possível armazenar informação gráfica (pontos, linhas e polígonos), bem como tabelas de dados, relações entre atributos, relações entre entidades gráficas e tipologias de informação mais avançadas (como modelos digitais de terreno). Neste trabalho desenvolveu-se uma *Personal Geodatabase* que pode ser lida por várias pessoas ao mesmo tempo, mas editada apenas por uma pessoa de cada vez. A base está organizada em quatro temas: ocorrências de cheias; limites administrativos; fatores condicionantes e fator desencadeante (Figura 2.6).

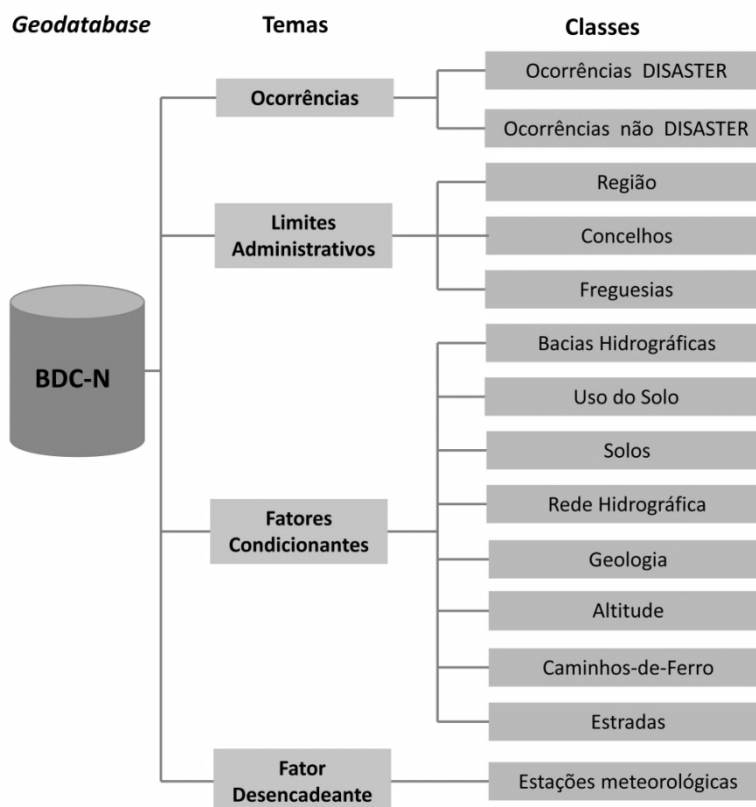


Figura 2.6. Síntese esquemática da BDC-N.

## 2.2. Recolha, validação e organização das ocorrências

No âmbito do projeto *DISASTER*, realizou-se uma pesquisa de notícias na imprensa escrita diária entre 1865 e 2010, alusivas às ocorrências, em Portugal Continental, de cheias e movimentos de vertente com vítimas ou prejuízos humanos, isto é, mortos, feridos, desaparecidos, evacuados ou desalojados, independentemente do valor económico dos danos. Ao mesmo tempo pesquisaram-se e registaram-se para a região Norte as cheias que provocaram algum tipo de dano, independentemente da sua dimensão, entre 1865 e 2011. A BDC-N é a junção destas duas informações, ou seja, das ocorrências de cheias que cumprem o critério *DISASTER* e as ocorrências que não cumprem este critério, mas que provocaram danos, sejam eles funcionais, superficiais ou estruturais.

Foram consultados sistematicamente três periódicos diários (Diário de Notícias, Jornal de Notícias e Diário de Coimbra) e onze semanários (Notícias de Chaves, Correio de Mirandela, Notícias de Vila Real, O Mensageiro de Bragança, Soberania do Povo, Região de Leiria, Jornal do Fundão, Reconquista, Beira-Baixa, Diário do Alentejo e O Algarve: semanário

independente). Para colmatar elementos em falta ou aprofundar o conhecimento de ocorrências particulares, foram consultados pontualmente exemplares dos periódicos: O Século, O Comércio do Porto, O Primeiro de Janeiro, o Público e o Correio da Manhã (Quadro 2.1). No total, foram analisados 145.344 periódicos, correspondentes a um período em análise de 146 anos (1865 a 2010) (Zêzere *et al.*, 2014). Posteriormente foram adicionados os periódicos do Jornal de Notícias do ano de 2011 para região Norte.

Quadro 2.1. Periódicos consultados.

Periódico	Período de Referência	Categoria	Distribuição	Incidência Espacial
Diário de Notícias	1865-2010	Diário	Nacional	Portugal (principalmente a Área Metropolitana de Lisboa e o Vale do Tejo)
Jornal de Notícias	1888-2011	Diário	Regional	Região Norte (principalmente a Área Metropolitana do Porto)
Notícias de Vila Real	1933-1934	Semanário	Local	Região Norte (área de Trás-os-Montes)
Notícias de Chaves	1950-2010	Semanário	Local	Região Norte (Alto Tâmega)
Correio de Mirandela	1907-1937	Semanário	Local	Região Norte (área de Trás – os - Montes)
O Mensageiro de Bragança	1945-1950	Trimensal	Local	Região Norte (área de Trás-os-Montes)
Diário de Coimbra	1931-2010	Diário	Regional	Região Centro (principalmente a área de Coimbra)
Soberania do Povo	1936-2010	Semanário	Local	Região Centro (principalmente a área noroeste)
Região de Leiria	1935-2010	Semanário	Regional	Região Centro (área oeste)
Jornal do Fundão	1946-2010	Semanário	Regional	Região Centro (principalmente área este)
Reconquista	1950-2000	Semanário	Regional	Região Centro (Castelo Branco e Guarda)
Beira-Baixa	1939-1949	Semanário	Regional	Região Centro (Castelo Branco e Guarda)
Diário do Alentejo	1933-2002	Diário até 1982 e depois Semanário	Regional	Região Sul (Alentejo)
O Algarve: o semanário independente	1908-2001	Semanário	Regional	Região Sul (Algarve)

Na inventariação de cada evento hidro-geomorfológico, foi recolhida a seguinte informação: subtipo (i.e. cheia progressiva, cheia rápida ou inundação urbana) data, localização, fonte, data da fonte, número de página, número de mortes, feridos, desalojados, evacuados ou desaparecidos, entidades envolvidas, prejuízos materiais e fator desencadeante. Como esta BD é desenvolvida em ambiente SIG cada ocorrência, um formato ponto, foi codificada e georreferenciada (Figura 2.7). Nem sempre foi fácil definir as coordenadas geográficas de cada ocorrência. Apesar da leitura atenta da notícia, raramente a mesma apresenta indicações concretas e muito precisas da sua localização, sendo que na georreferenciação das ocorrências procurou-se a melhor aproximação possível. Do mesmo modo, nem sempre foi possível preencher todos os campos dos formulários, pois nem todas as notícias apresentam uma informação detalhada das ocorrências. Um desses exemplos prende-se com o campo da hora, que nem sempre é referida na notícia e, quando é, raramente é precisa.



Figura 2.7. Esquema metodológico de recolha e armazenamento de dados na base de dados.

A recolha de informação nos jornais apresentou diversas dificuldades. Os jornais dos primeiros anos do século XX cobrem preferencialmente centros urbanos (como o Porto, Vila Nova de Gaia e Matosinhos) ou áreas cuja acessibilidade depende em grande parte de redes de transporte específicas, nomeadamente a linha de caminho-de-ferro Porto-Barca d’Alva (Linha do Douro). Por outro lado, nos periódicos nem sempre é referido de forma exata o enquadramento temporal e espacial da ocorrência, complicando a tarefa de georreferenciação e a análise posterior dos eventos. Assinala-se, ainda, o facto de por vezes as notícias não indicarem o número de pessoas afetadas, problema encontrado também por Guzzetti *et al.* (2005), Quaresma (2008) e Pereira (2009). Tal verifica-se, nomeadamente, na referência a evacuados e desalojados, em que são muitas vezes utilizados termos como “muitos” e “vários” ou é apenas referido o número de famílias. Neste último caso, procedeu-se a uma estimativa que contempla a dimensão média das famílias disponibilizada pelo INE (Instituto Nacional de Estatística) através dos dados censitários, pelo que os resultados obtidos são números aproximados. Outra dificuldade sentida relaciona-se com os efeitos da censura no teor das matérias publicadas durante o regime ditatorial que vigorou entre 1926 e 1974. Desta forma, pode-se admitir que os números resultantes das ocorrências, apresentados nos jornais, possam ter sido alterados de modo a “suavizar” a dimensão dos acontecimentos (Pereira,

2009). Apesar destes obstáculos, os jornais são uma fonte de informação imprescindível a este trabalho.

Para além da informação histórica, reuniu-se também a informação cartográfica para inserir na BD. Esta informação engloba a altimetria e hidrografia (escala 1:25000), geologia à escala 1:500000 e 1:200000, uso e ocupação do solo (*Corine Land Cover* do Instituto Geográfico Português) à escala 1:100 000, rede de estradas, rede de caminho-de-ferro, toponímia (escala 1:25000) e limites administrativos (Carta Administrativa Oficial de Portugal).

## 2.3. Análise dos resultados da BDC-N

### 2.3.1. Principais eventos de cheias na região Norte

Apresentam-se de seguida os eventos com mais ocorrências de cheias que afetaram a região Norte, ou seja, os eventos que causaram mais danos, segundo a BDC-N, com o objetivo de examinar uma perspetiva histórica das consequências danosas destes fenómenos. São também expostos os dados da taxa de precipitação das reanálises para confirmar /validar cada ocorrência de eventos extremos de precipitação no Norte de Portugal. Os dados das reanálises foram retirados do projeto “20th Century Reanalysis V2” (*Compo et al., 2011*).

#### ▪ 22 e 23 de dezembro de 1909

Nos dias 22 e 23 de dezembro de 1909, registaram-se 68 ocorrências de cheias, das quais 25 provocaram: 10 mortos, 2 feridos, 172 evacuados, 58 desalojados e 1 desaparecido. Entre os estragos, podemos referir que se afundaram ou saíram pela barra do Douro mais de quarenta embarcações e mais de treze rebocadores. Para além disto, perderam-se mais de setecentas pequenas embarcações (Jornal de Notícias, 27-12-2009). A maioria das ocorrências registou-se ao longo do rio Douro. Desde o início de dezembro que o Porto e todo o vale do Douro estavam sob efeito de precipitação contínua, que engrossou o volume das águas dos afluentes do rio Douro. Nos dias 22 e 23 de dezembro as condições meteorológicas agravaram-se o que causou uma das maiores cheias no rio Douro. Como escreveu o cronista na altura: “... o rio barrento, escuro, ruidoso, de aspeto lúgubre, sem aliás deixar de oferecer certa grandiosidade, ia arrastando nas águas revoltas tudo o que encontrava na passagem...” (Jornal de Notícias,



27-12-2009). Na Figura 2.8 é possível observar a cheia, que esteve a 80 centímetros do tabuleiro inferior da ponte Luís I.



Figura 2.8. Postais Nº1: Ponte D. Luiz e Nº 4: Avenida Diogo Leite, V. N. de Gaya.

Fonte: Porto: A cheia do rio Douro, Dezembro de 1909. Editor: [S.l.]: Union Postale Universelle. Data: [191-?]. Carimbo da Biblioteca da Escola Superior de Belas Artes do Porto.

Os dados de reanálise (Compo *et al.*, 2011), da taxa de precipitação, mostram para 22 de dezembro de 1909, valores singularmente elevados de precipitação no Norte de Portugal. A anomalia estimada às 18h do dia é superior a 50 mm (Figura 2.9).

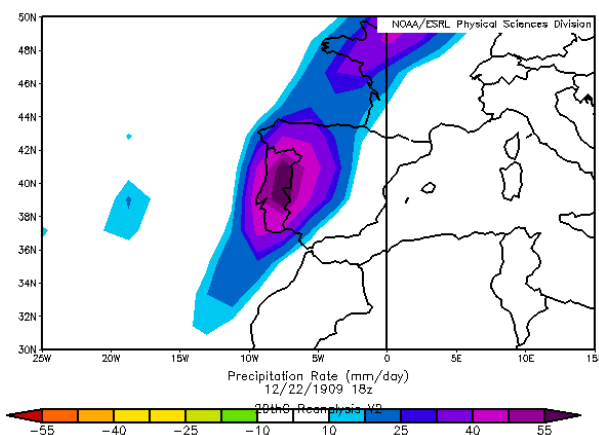


Figura 2.9. Taxa de precipitação (mm/dia) do dia 22-12-1909 às 18h.

#### ▪ 01, 02 e 03 de janeiro de 1962

No início do ano de 1962, a região do Douro foi afetada por uma cheia progressiva, na qual se registaram 21 ocorrências o que provocou 61 evacuados e 2838 desalojados. A maioria das ocorrências assinalou-se nas áreas ribeirinhas de Peso da Régua, Porto e Vila de Gaia. Na cidade de Peso da Régua, esta cheia atingiu um caudal de 15.700 m<sup>3</sup>/s (cota 67,7 m), o equivalente a 23 metros de altura para além do nível médio do leito normal do rio Douro (Almeida, 2009). Na Figura 2.10 apresentam-se duas fotografias desta cheia nas ruas de Peso da Régua.





Figura 2.10. Cheia do rio Douro de 1962 nas principais ruas da cidade de Peso da Régua.

Fonte: Arquivo Histórico dos Bombeiros Voluntários de Peso da Régua.

A taxa de precipitação para o dia 2 de novembro de 1962 às 18h mostra um episódio de precipitação que afetou todo o país, entre 20 a 25 mm/dia (Figura 2.11).

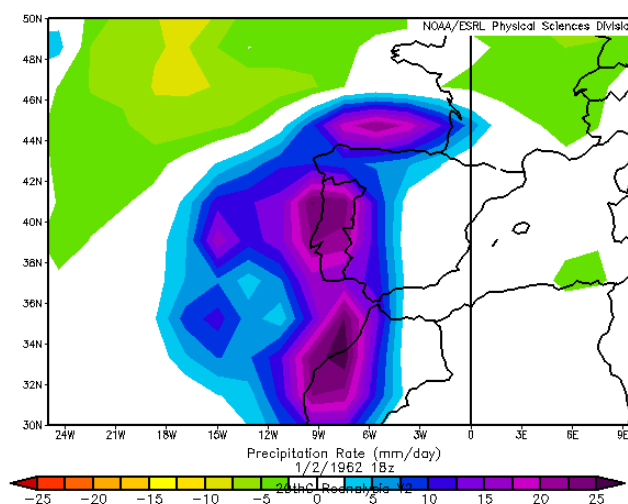


Figura 2.11. Taxa de precipitação (mm/dia) do dia 02-01-1962 às 18h.

#### ▪ 20 e 21 de fevereiro de 1966

Nos dias 20 e 21 de fevereiro de 1966 registaram-se na região Norte, 17 ocorrências que provocaram 11 feridos, 31 evacuados e 1847 desalojados. Segundo as notícias o país estava sob a influência de uma “*invernia sem freios*” (JN, 22-02-1966), mas no dia 21 de fevereiro a chuva, a trovoadas e o granizo vieram piorar a situação, o que levou ao corte de estradas, desabamentos de terras e desalojamento de pessoas devido às cheias no rio Douro e Tâmega. A taxa de precipitação do dia 20 de fevereiro é superior a 35 mm/dia para todo o país (Figura 2.13).



Figura 2.12. Jornal de Notícias do dia 22 de fevereiro de 1966.

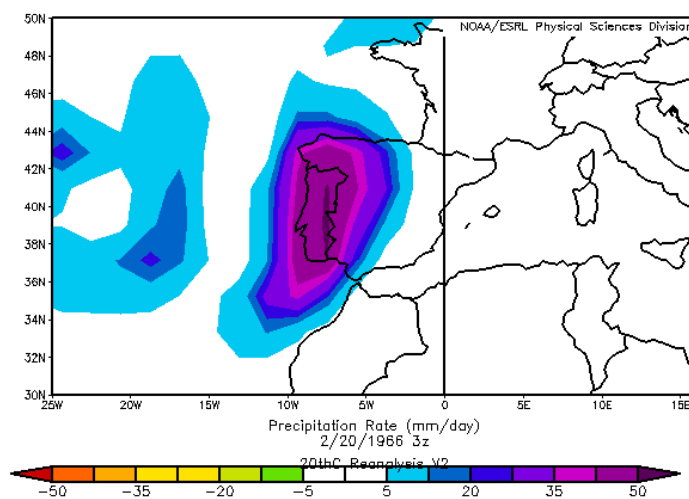


Figura 2.13. Taxa de precipitação (mm/dia) do dia 20-02-1966 às 3h.

#### ▪ 28 de fevereiro de 1978

No dia 28 de fevereiro de 1978 registaram-se na região Norte, 12 evacuados e 1012 desalojados, dos quais 1000 foram na cidade de Peso da Régua. Segundo Daveau *et al.* (1978), a precipitação bastante contínua, iniciou-se a 22 de fevereiro e terminou a 3 ou 4 de março. A precipitação deveu-se à passagem repetida de sistemas frontais associados à rápida circulação de depressões (Daveau *et al.*, 1978). As águas subiram na Régua 16,32 metros, às 6h, do dia 28 de fevereiro de 1978. A reanálise mostra uma taxa de precipitação entre 40 e 50 mm/dia, na região Norte (Figura 2.14).

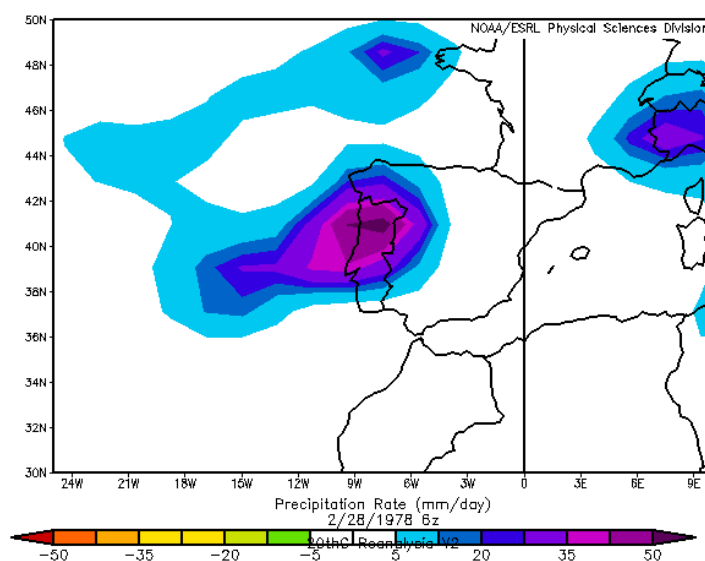


Figura 2.14. Taxa de precipitação (mm/dia) do dia 28-02-1978 às 6h.

#### ▪ 10 a 12 de fevereiro de 1979

No mês de fevereiro registou-se uma das maiores cheias no rio Tejo. Na região Norte também se registaram ocorrências, nomeadamente nas cidades de Porto, Vila Nova de Gaia e Peso da Régua devido à cheia progressiva do Rio Douro (26 ocorrências). Deste modo, entre 10 e 12 de fevereiro de 1979 registaram-se 23 evacuados e 2705 desalojados.

Na Figura 2.15 podemos verificar que os valores mais elevados de precipitação registam-se em Lisboa e Vale do Tejo. Na região Norte os valores de precipitação encontram-se entre 30 a 40 mm/dia.

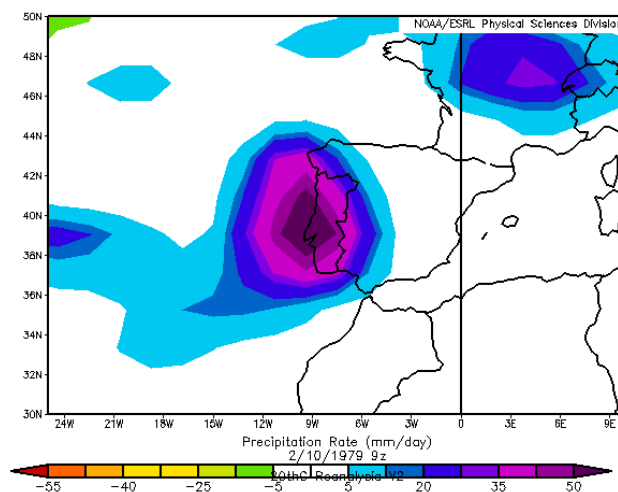


Figura 2.15. Taxa de precipitação (mm/dia) do dia 10-02-1979 às 9h.

#### ▪ 22 de dezembro de 1989

O dia 22 de dezembro de 1989 ficou marcado pelas cheias no rio Douro que provocaram 2 feridos, 114 evacuados e 1803 desalojados. Estas ocorrências registaram-se sobretudo nas margens do Douro, nas cidades de Peso da Régua, Porto e Vila Nova de Gaia. Segundo as

notícias as causas desta cheia foram a precipitação intensa e as descargas das barragens do Douro internacional atingindo o máximo de 19,8 metros na Régua na madrugada do dia 22. A taxa de precipitação do dia 21 de dezembro de 1989 é superior a 35mm/dia, notando-se um valor mais elevado no vale do Douro (Figura 2.17).

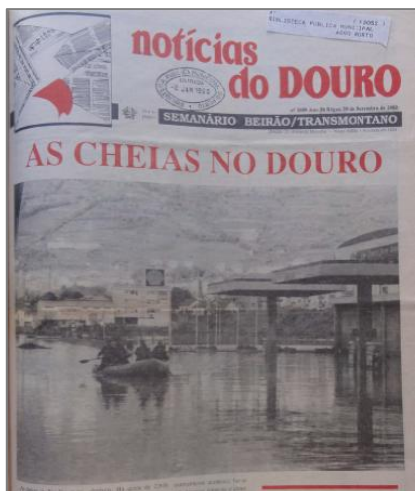


Figura 2.16. Notícias do Douro do dia 29 de dezembro de 1989.

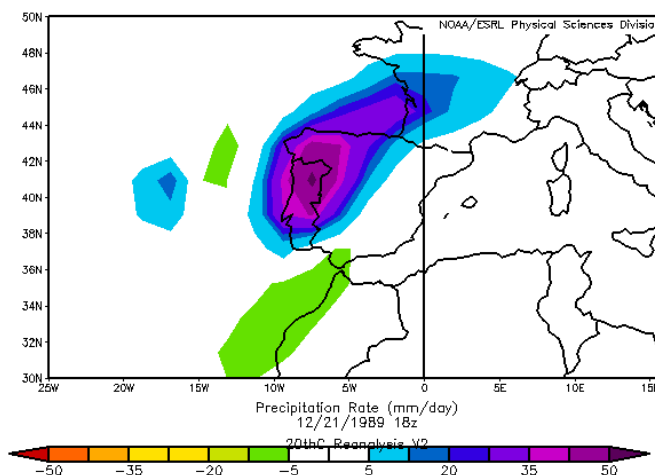


Figura 2.17. Taxa de precipitação (mm/dia) do dia 21-12-1989 às 18h.

#### ▪ 26 de janeiro de 2001

O ano hidrológico de 2000-2001 foi o mais chuvoso desde o início do século XX (2112 mm), na estação de Serra do Pilar (IPMA). “Chegou o fim do mundo” é uma das manchetes das notícias publicadas no Jornal de Notícias no dia 27 de janeiro de 2001 (Figura 2.18). De facto, muitas foram as ocorrências de cheias e movimentos de vertente que afetaram o país. Na região Norte registaram-se 130 pessoas evacuadas e 10 desalojadas, num total de 17 ocorrências. Na Figura 2.19, podemos verificar que quase todo o país está a ser afetado por episódios de precipitação.

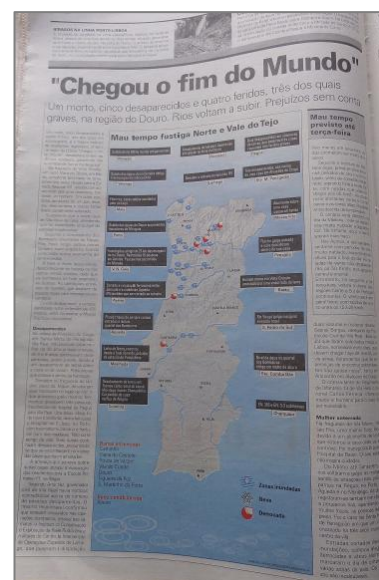


Figura 2.18. Jornal de Notícias do dia 27 de janeiro de 2001

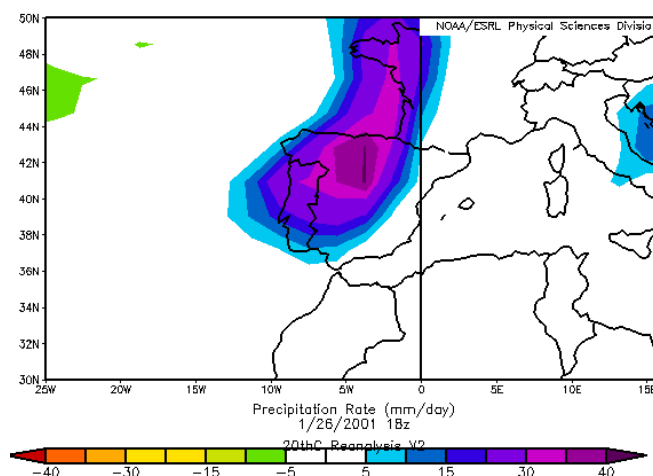


Figura 2.19. Taxa de precipitação (mm/dia) do dia 26-01-2001 às 18h.

### 2.3.2. Ocorrências de cheias na região Norte

Na BDC-N estão inscritas 1873 ocorrências de cheias na região Norte. Do total de ocorrências registadas, 27% correspondem a ocorrências presentes na base de dados *DISASTER* e que, por isso, provocaram mortos, feridos, desaparecidos, evacuados ou desalojados. As restantes ocorrências de cheias (73%) causaram somente prejuízos materiais (Figura 2.21). As cheias progressivas correspondem a 58% do total de ocorrências. As inundações urbanas referem-se a 32% dos registos e as cheias rápidas a 10% (Figura 2.20).

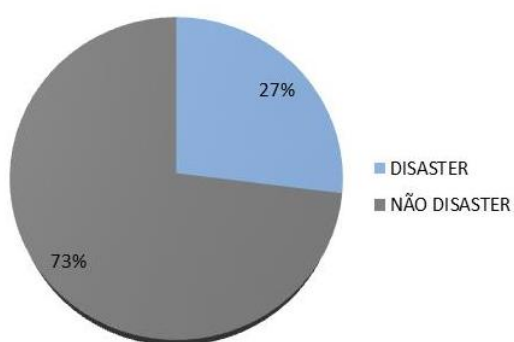


Figura 2.21. Ocorrências que cumprem ou não os critérios *DISASTER*.

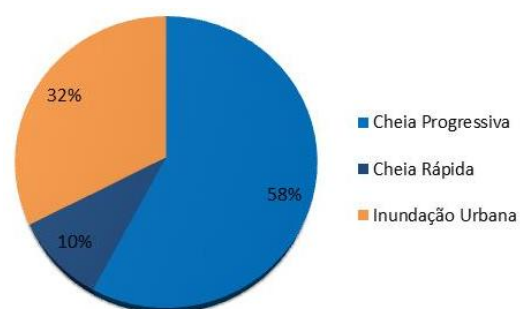


Figura 2.20. Tipologia das ocorrências registadas na BDC-N.

Na imprensa escrita, a localização dos eventos é frequentemente descrita de forma vaga ou incompleta. Deste modo, quando não são referidas a rua ou descrições onde seja possível localizar as ocorrências, estas foram georreferenciadas ao centróide da freguesia ou do

concelho. Grande parte das ocorrências estão georreferenciadas de modo aproximado, seja por toponímia (37%) ou com base em descrições ou morfologia (45%). Um exemplo de uma ocorrência georreferenciada com base na toponímia, Jornal de Notícias, 5 de março de 2001, p.5: *“As águas do Almorode deslizaram por quintais e por garagens, inundando a Rua de Agostinho da Silva Rocha, Estrada Nacional EN107.”* Outro exemplo de uma ocorrência georreferenciada com base em descrições ou morfologia está patente no Jornal de Notícias, do dia 27 de Dezembro de 1959: *“Ontem à noite, pouco antes das 22 horas, quando se dirigia para casa montado na sua bicicleta o estudante (...), ao atravessar uma ponte do rio Leça, no lugar de Esposade do Fundo, em Custóias (Matosinhos), não reparou que ela estava coberta pela água. Assim a forte corrente que o rio levava arrastou-o com a bicicleta”*. Em 18% das ocorrências só foi possível georreferenciar aos centróides da freguesia ou do concelho. Um exemplo deste tipo de ocorrências está no Jornal de Notícias de 13 de Dezembro de 1948: *“Na região de Boticas o vendaval causou prejuízos importantíssimos. Os rios trasbordaram, provocando enormes inundações e quase arrasando por completo as culturas marginais”*. Não foi possível georreferenciar 2 ocorrências registadas na BD (Figura 2.22).

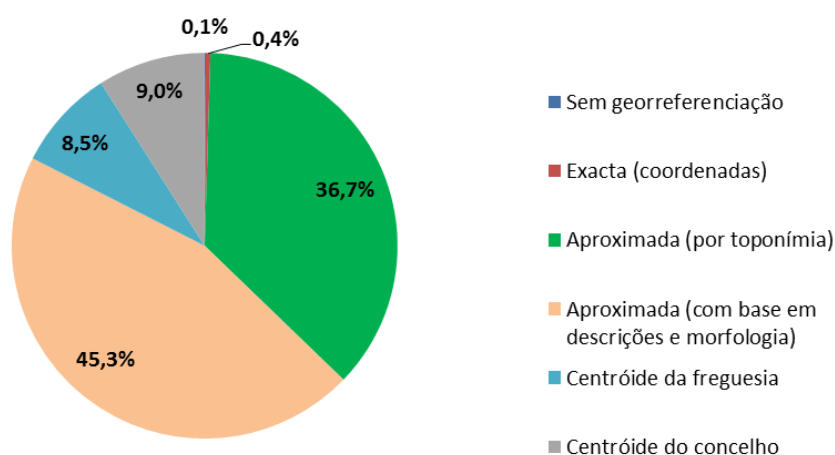


Figura 2.22. Tipos de georreferenciação das ocorrências de cheia da BDC-N.

Do total de fontes consultadas, 77% das ocorrências inventariadas resultam do Jornal de Notícias. De seguida, destacam-se os jornais O Primeiro de Janeiro e o Diário de Notícias com 9% e 7%, respetivamente das ocorrências. Os jornais com tiragem semanal proporcionaram 3% do total de ocorrências (Figura 2.23).



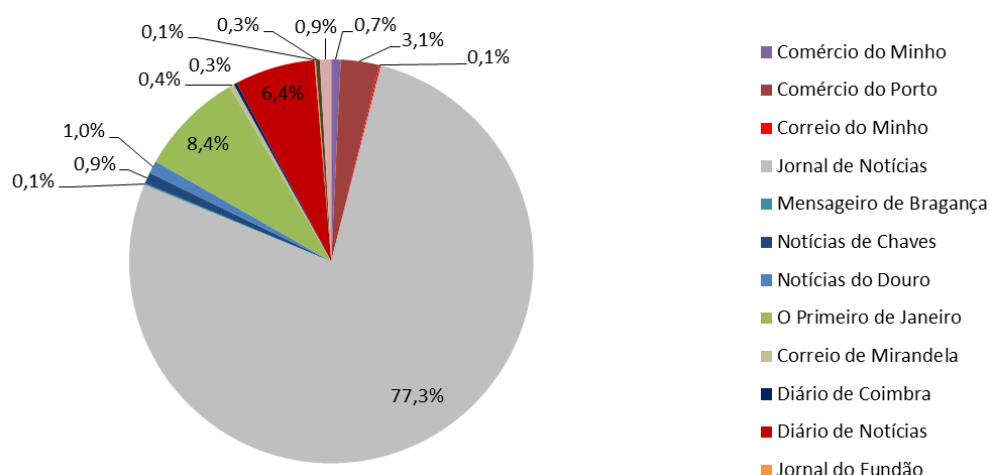


Figura 2.23. Ocorrências inventariadas segundo a sua fonte de dados.

### 2.3.3. Distribuição espacial das ocorrências

Das 1873 ocorrências, em 508 registaram-se danos pessoais, ou seja, mortos, feridos, desalojados, evacuados ou desaparecidos. Numa primeira análise (Figura 2.24) podemos verificar que as ocorrências se localizam sobretudo no Porto e concelhos vizinhos. O Porto e Vila Nova de Gaia detêm cerca de 27% das ocorrências.

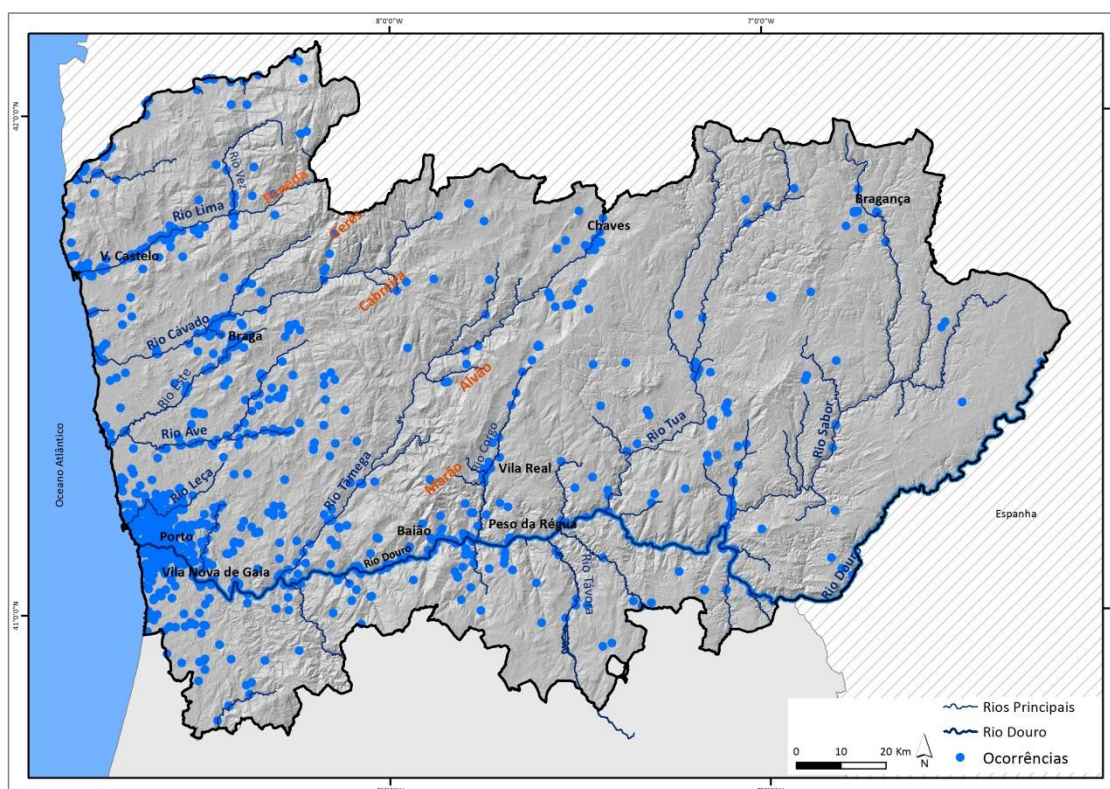


Figura 2.24. Distribuição de ocorrências de cheias na região Norte (1865-2011).

Destacam-se em seguida os concelhos de Matosinhos, Braga, Gondomar, Ponte de Lima, Viana do Castelo e Chaves com 3 a 5% (cada um) do total das ocorrências

À semelhança de outros autores (Guzzetti & Tonelli, 2004; Pereira, 2009), calculou-se a densidade de ocorrências, por 10 km<sup>2</sup>. Assim os valores de densidade de ocorrências são mais elevados nos concelhos do Porto, Vila Nova de Gaia, Matosinhos, Maia, Gondomar, Espinho, Valongo, Braga e Peso da Régua. Nestes concelhos, a densidade populacional e a ocupação dos leitos de cheia contribuem para os valores elevados de ocorrências (Figura 2.25).

As cheias na região Norte localizam-se sobretudo na bacia hidrográfica do rio Douro (56,9%) e nas bacias dos rios Ave e Leça (20,6%) (Figura 2.26 A). Contudo se analisarmos a densidade de cheias por 10 km<sup>2</sup>, verificamos que é a bacia conjunta dos rios Ave e Leça que tem maior densidade de cheias (2,28 cheias/10km<sup>2</sup>). De seguida surgem as bacias do Vouga, Lima e Neiva, com 1,1 cheias por 10 km<sup>2</sup>.

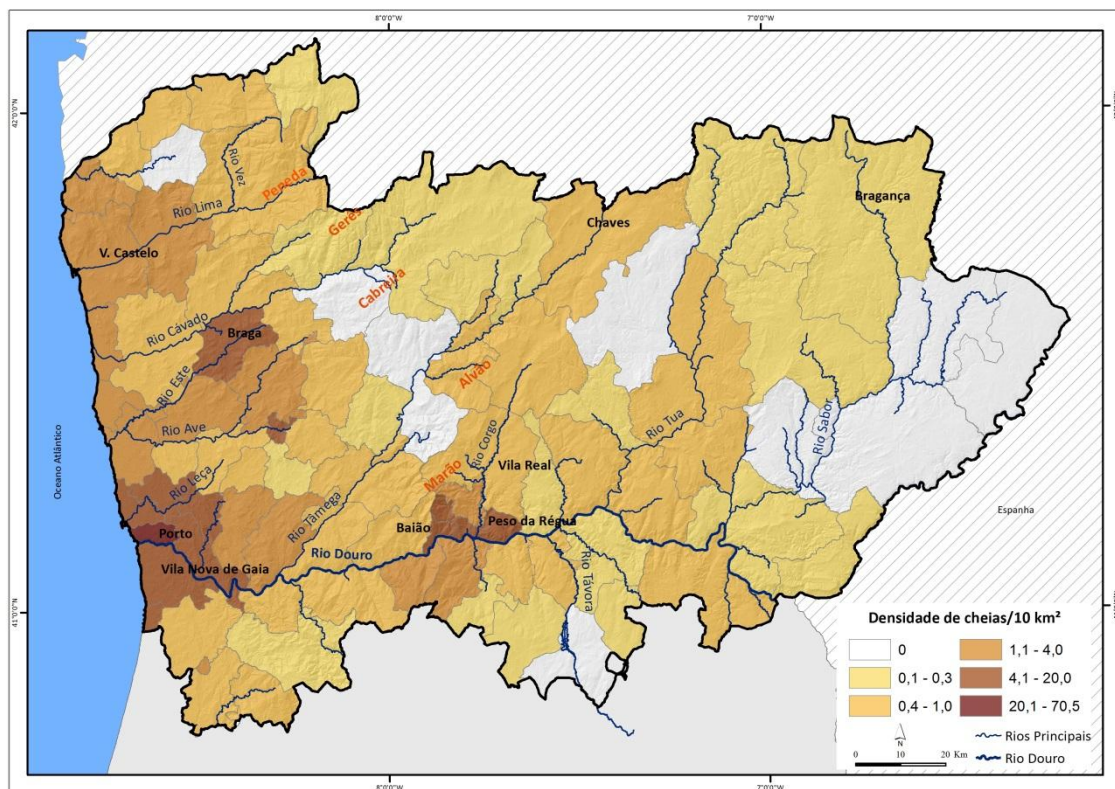


Figura 2.25. Densidade de ocorrências por concelho na região Norte (1865-2011).

Do cruzamento da precipitação média anual (1931-1960) (Daveau, 1977) com a distribuição espacial das ocorrências, podemos concluir que 60,1% das ocorrências localizam-se em áreas com precipitação média anual entre 1000 e 1400 mm. Estas áreas abrangem sobretudo as zonas costeiras e a parte terminal da bacia hidrográfica do rio Douro que são também as áreas



com mais população. Nos locais com precipitação média anual  $\geq 2000$  mm, o número total de ocorrências não ultrapassa os 1,5%, uma vez que são locais montanhosos e com menos população (Figura 2.26 B). Contudo, convém referir que as cheias estão sobretudo relacionadas com as precipitações que caem a montante e por isso, deve-se ter em consideração a precipitação que cai em toda a bacia hidrográfica.

Como já foi referido anteriormente, os concelhos com valores de densidade populacional mais elevados, ou seja, Porto, Matosinhos, Vila Nova de Gaia são os concelhos que registam mais ocorrências de cheias. A localização das ocorrências de cheias e a densidade populacional têm um coeficiente de correlação de 0,78. São de realçar também os concelhos de Peso da Régua, Chaves, Ponte de Lima e Viana do Castelo, que apesar de não apresentarem valores elevados de densidade populacional, no contexto da região Norte, registam diversas ocorrências nas margens dos seus principais rios (Figura 2.26 C).

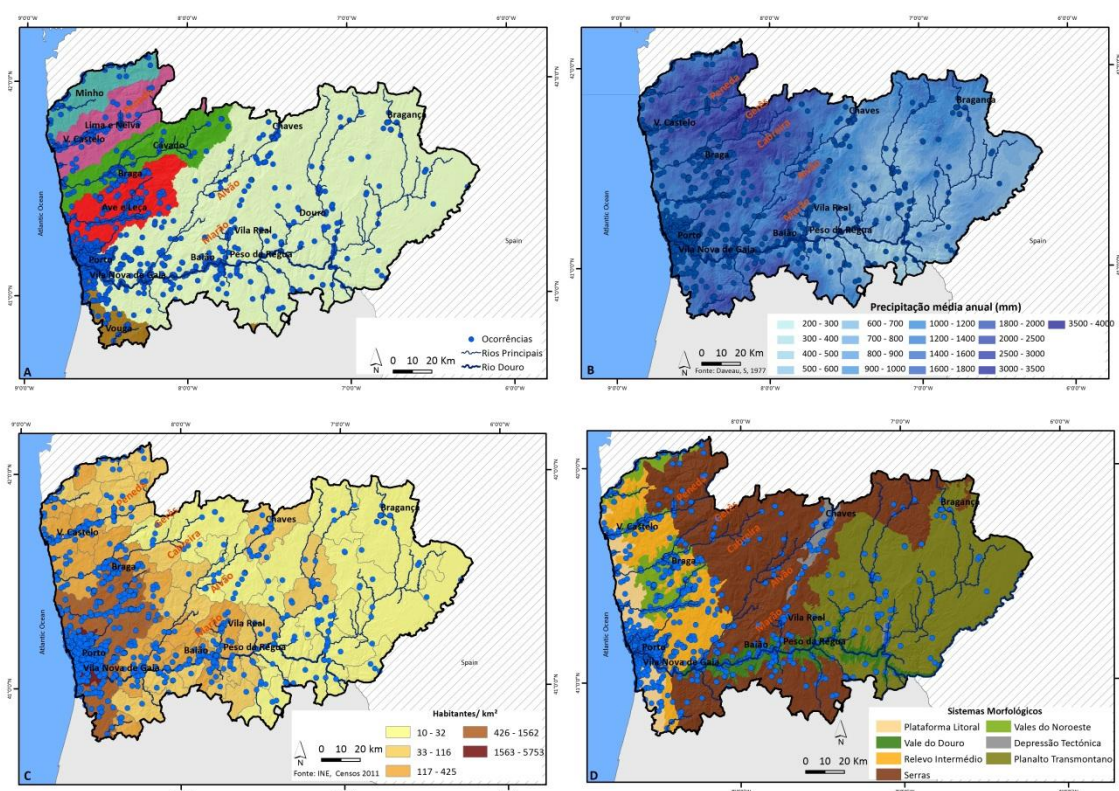


Figura 2.26. Distribuição espacial das cheias na região Norte, no período 1865-2011 e a relação com as regiões hidrográficas (A), a média de precipitação anual (B), o número de habitantes por km<sup>2</sup> (2011) (C), e os sistemas morfológicos (D).

Do total de ocorrências de cheias na região Norte, 45,8% localizam-se na Plataforma Litoral e 16,9% nos vales do Noroeste. Das restantes unidades morfológicas, destacam-se o vale do

Douro com 9,7% e o relevo intermédio com 9,9% do total de ocorrências de cheias (Figura 2.26 D).

#### 2.3.4. Distribuição temporal das ocorrências

Os anos que registaram mais ocorrências de cheias são por ordem decrescente: 1909 (101); 1939 (92), 2001 (91), 1955 (81), 1948 (81), 1935 (60), 1978 (57), 1966 (55) e 1936 (55). Estes anos registaram 36% do total de cheias presentes na BDC-N. No entanto, se analisarmos as ocorrências de cheias por anos hidrológicos verifica-se uma repartição bem distinta. Assim os anos hidrológicos com mais registos de ocorrências são por ordem decrescente: 2000/2001 (112), 1935/1936 (106), 1909/1910 (99), 1938/1939 (90), 1954/1955 (72), 1965/1966 (61), 1978/1979 (60), 1948/1949 (55) (Figura 2.27 e Figura 2.28).

Ao longo dos 147 anos de análise, verifica-se uma grande variabilidade na distribuição temporal das cheias. Pelo método de classificação dos dados de quebras naturais, podemos delimitar a série em 3 classes: até 1930, de 1931 a 1971 e 1972 a 2011. Até 1930, o número de ocorrências/ano é em média de 5. Neste período destaca-se o ano de 1909 com 101 ocorrências de cheias, embora a maioria delas se relacionam com o mesmo acontecimento: uma cheia progressiva no final de Dezembro de 1909, no Rio Douro, considerada como o maior em todo o século XX. No período 1931 a 1971, há um aumento significativo do número de ocorrências, sendo o valor médio de 24 ocorrências/ano. Os anos de 1935, 1936, 1939, 1948, 1955 e 1966 são os que mais se sobressaem, com mais de 50 ocorrências/ano. O período temporal de 1972 a 2011 é caracterizado pela diminuição da média de ocorrências/ano (14) em comparação com o período anterior, evidenciando-se os anos de 1978 e 2001 com mais de 50 ocorrências/ano (Figura 2.27). Em geral, evidencia-se uma grande variabilidade temporal no registo de ocorrências de cheias na região Norte.

Ao analisar as ocorrências de cheias por ano hidrológico, destacam-se facilmente os anos hidrológicos de 2000/2001 (112 ocorrências) e 1935/1936 (106 ocorrências) (Figura 2.28). Nas figuras com a distribuição temporal, seja pelo ano civil ou pelo ano hidrológico (Figura 2.27 e Figura 2.28) é notório o reduzido número de ocorrências, entre 1865 e 1900. Este facto pode dever-se ao difícil acesso à informação, sendo que os jornais desta época cobriam principalmente as áreas urbanas ou de áreas servidas pelas redes de transportes mais importantes, como por exemplo a linha ferroviária do Douro. A diminuição de ocorrências no terceiro período pode, pelo menos em parte, ser atribuída a regularização dos caudais por

várias barragens instaladas entre 1950 e 1985, sendo que a barragem mais importante foi construída em 1970 (Bastos *et al.*, 2012). No entanto, de acordo com Silva and Oliveira (2001), as barragens existentes na bacia hidrográfica do Douro não contribuem de forma significativa para a atenuação das grandes cheias no território português da maior bacia hidrográfica da península Ibérica. Por outro lado, a diminuição de chuvas no inverno e primavera (Santos & Fragoso, 2013), associada à predominância da fase positiva do índice NAO entre os anos 1960 e 1990 (Paredes *et al.*, 2006; Trigo *et al.*, 2008), pode também contribuir para explicar a diminuição do número de ocorrências no terceiro período.

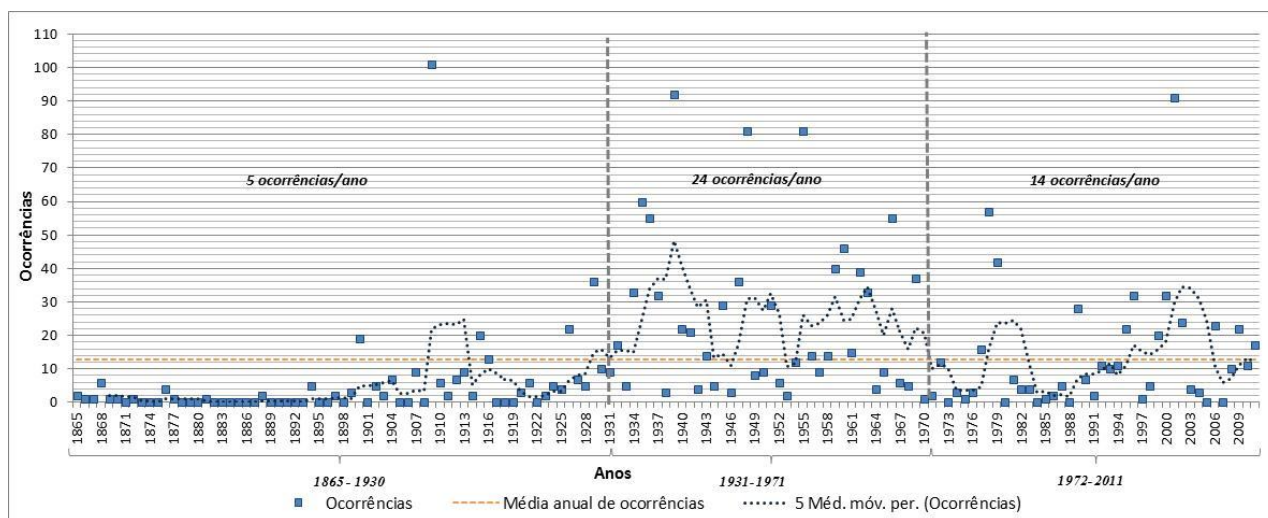


Figura 2.27. Distribuição temporal, por ano civil, das ocorrências de cheias na região Norte (1865-2011).

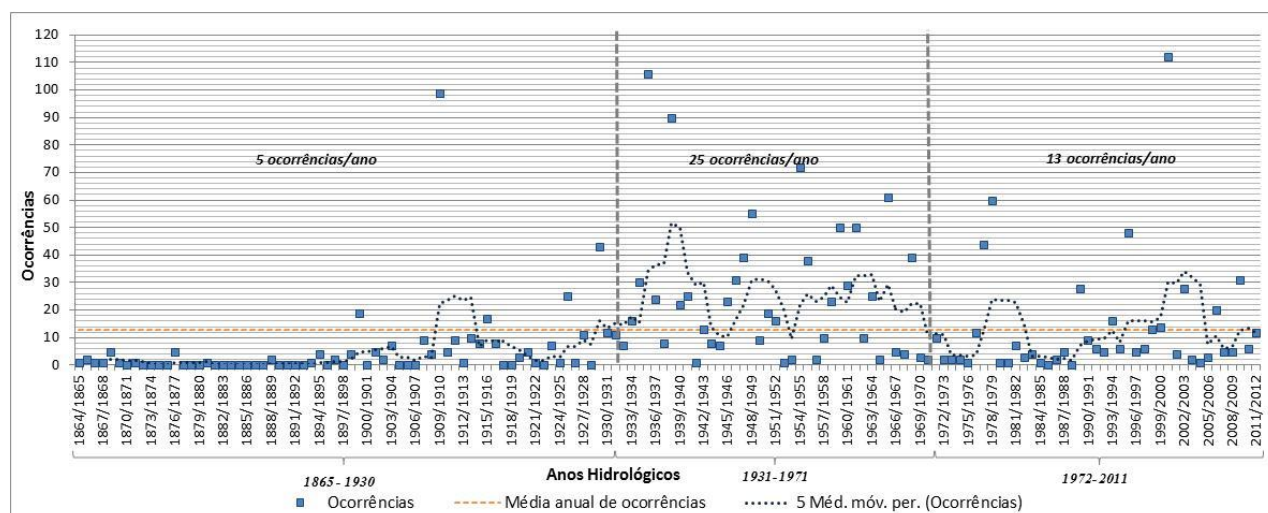


Figura 2.28. Distribuição temporal, por ano hidrológico, das ocorrências de cheias na região Norte (1865-2011).

Aplicou-se o teste não paramétrico de Mann-Kendall (1976) para detetar tendências de longo prazo nas ocorrências. Para estimar a magnitude das tendências, foi utilizado o algoritmo que

corresponde a uma extensão do teste original apresentada por Theil (1950) e Sen (1968). Os resultados sugerem uma pequena tendência de aumento, estatisticamente significativa, entre 1865 e 2011, de 0,066 ocorrências por ano.

A distribuição sazonal das cheias mostra-nos que são os meses de inverno que assinalam mais ocorrências (63,7%). Os meses de inverno são também os meses mais chuvosos do ano (Capítulo 5). O mês de Dezembro regista 27,5% das ocorrências. Os meses de outono registam 20,3% do total de ocorrências e a primavera 11,6%. Nos meses de verão apenas ocorreram 4,4% das ocorrências (Figura 2.29).

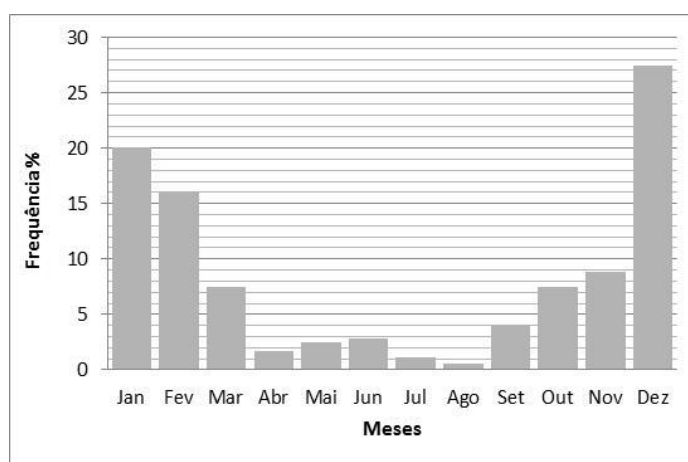


Figura 2.29. Distribuição sazonal das ocorrências de cheias na região Norte (1865-2011).

O principal fator desencadeante das cheias é a precipitação (Ramos, 2005a). A ocorrência de precipitação intensa e de curta duração pode provocar cheias rápidas enquanto, a precipitação de longa duração que se prolonga por semanas está na origem das cheias progressivas. Através dos dados de precipitação diária da estação meteorológica centenária da Serra do Pilar, realizou-se uma comparação do número de ocorrências anual com a precipitação média anual. Se analisarmos os resultados por anos civis, podemos verificar que os anos com mais precipitação anual não são os anos com mais ocorrências (Figura 2.30).

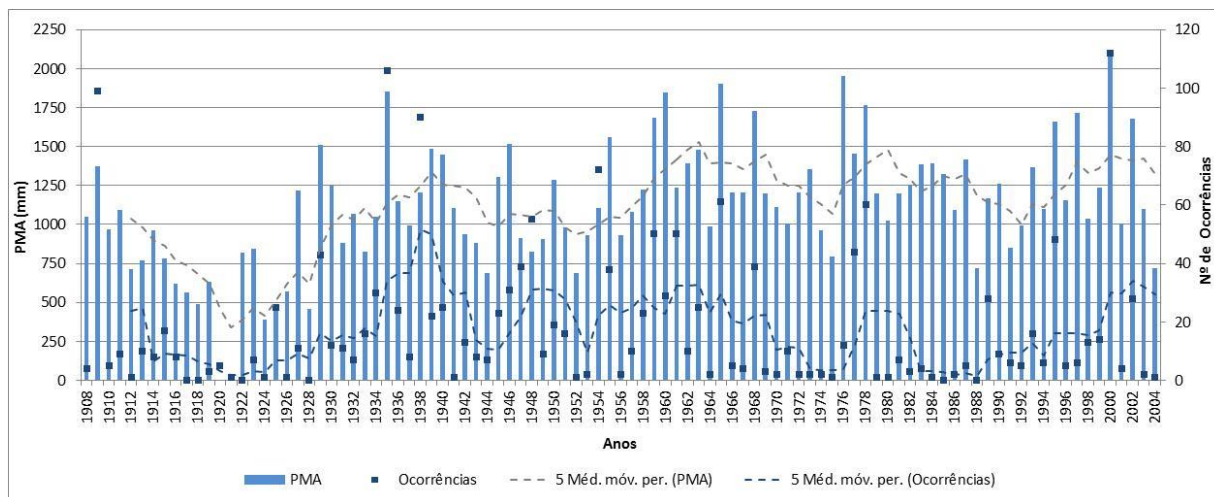


Figura 2.30. Relação das ocorrências com a precipitação média anual, por anos civis.

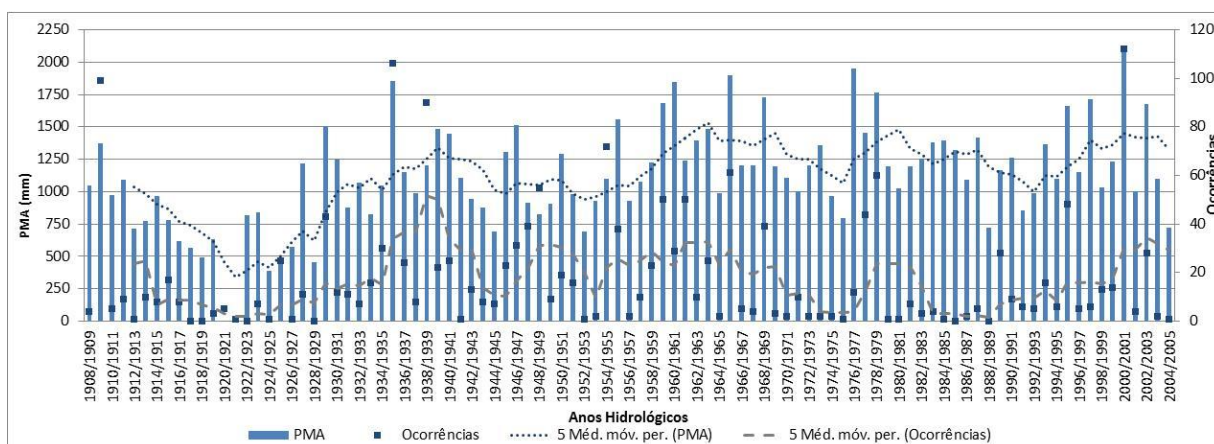


Figura 2.31. Relação das ocorrências com a precipitação média anual, por anos hidrológicos.

Na estação da Serra do Pilar, o ano com uma precipitação média anual mais elevada foi 1960, com o registo de 1999 mm. O número de ocorrências e a precipitação média anual por anos civis apresenta uma correlação de 0,47. No entanto, se analisarmos os valores de precipitação anual por anos hidrológicos com as ocorrências, conseguimos detetar alguma similaridade. Assim o ano hidrológico com mais ocorrências de cheias, 2000/2001, foi também o que registou uma precipitação anual mais elevada 2111,5 mm (Figura 2.31). Neste caso a correlação da precipitação média anual com as ocorrências por anos hidrológicos, sobe para 0,63. Estes resultados devem ser analisados com alguma prudência porque, em primeiro lugar, as cheias são desencadeadas por precipitação concentrada no espaço e no tempo e em segundo lugar, estamos a comparar as ocorrências registadas em toda a região Norte, com uma estação meteorológica localizada na Serra do Pilar, em Vila Nova de Gaia. Apesar disto, estes dados elucidam a relação estreita entre a precipitação e as cheias.



### 2.3.5. Tipos de cheias na região Norte

De 1865 a 2011, registaram-se na região Norte 181 cheias rápidas. A sua distribuição espacial evidencia um padrão irregular (Figura 2.32). As cheias rápidas provocadas por precipitação intensa e de curta duração (Ramos, 2009) afetam sobretudo pequenas bacias hidrográficas. Ao analisar a Figura 2.32, podemos identificar alguma concentração nos concelhos de Ponte de Lima, Matosinhos, Gondomar, Chaves e no vale da Vilariça.

As cheias progressivas estão presentes em maior número na região Norte. No total estão assinaladas 1080 ocorrências. As cheias progressivas são desencadeadas por precipitações abundantes e de longa duração (Ramos, 2009). As ocorrências de cheias progressivas localizam-se principalmente nas áreas urbanas junto aos principais rios da região. Assim conseguimos distinguir algumas concentrações de ocorrências, nomeadamente: ao longo do rio Douro, nas margens de Vila Nova de Gaia, Porto e Peso da Régua; na parte final do rio Leça, nos concelhos da Maia e Matosinhos; no rio Lima, com destaque para a vila de Ponte de Lima, Ponte da Barca e a cidade de Viana do Castelo; na cidade de Chaves e Amarante, devido às cheias do rio Tâmega; e no rio Corgo, em Vila Real (Figura 2.33).

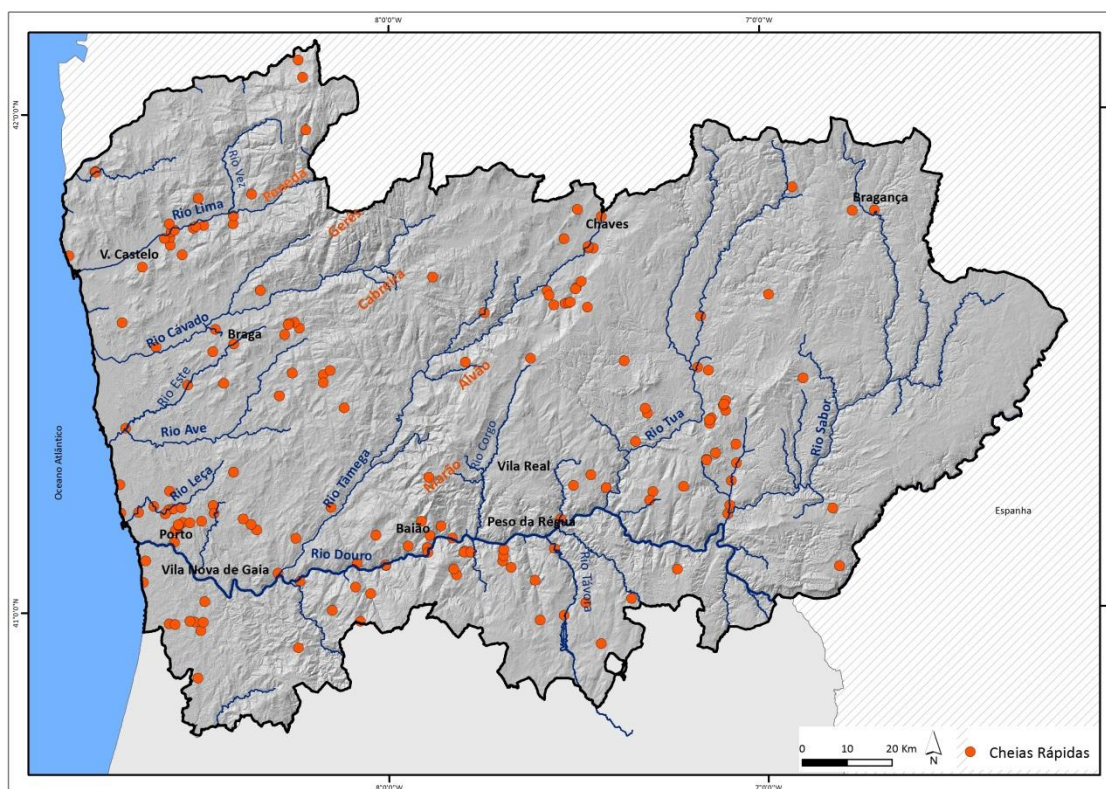


Figura 2.32. Cheias rápidas na região Norte (1865-2011).

As inundações urbanas devem-se à sobrecarga dos sistemas de drenagem artificiais de águas residuais e pluviais, concentram-se, nas áreas urbanas de Porto, Vila Nova de Gaia, Matosinhos, Gondomar, Valongo e Maia. Também nas cidades de Braga, Viana do Castelo, Guimarães e Esposende se verifica a concentração de ocorrências de inundações urbanas (Figura 2.35). No total, encontram-se registadas 608 inundações urbanas.

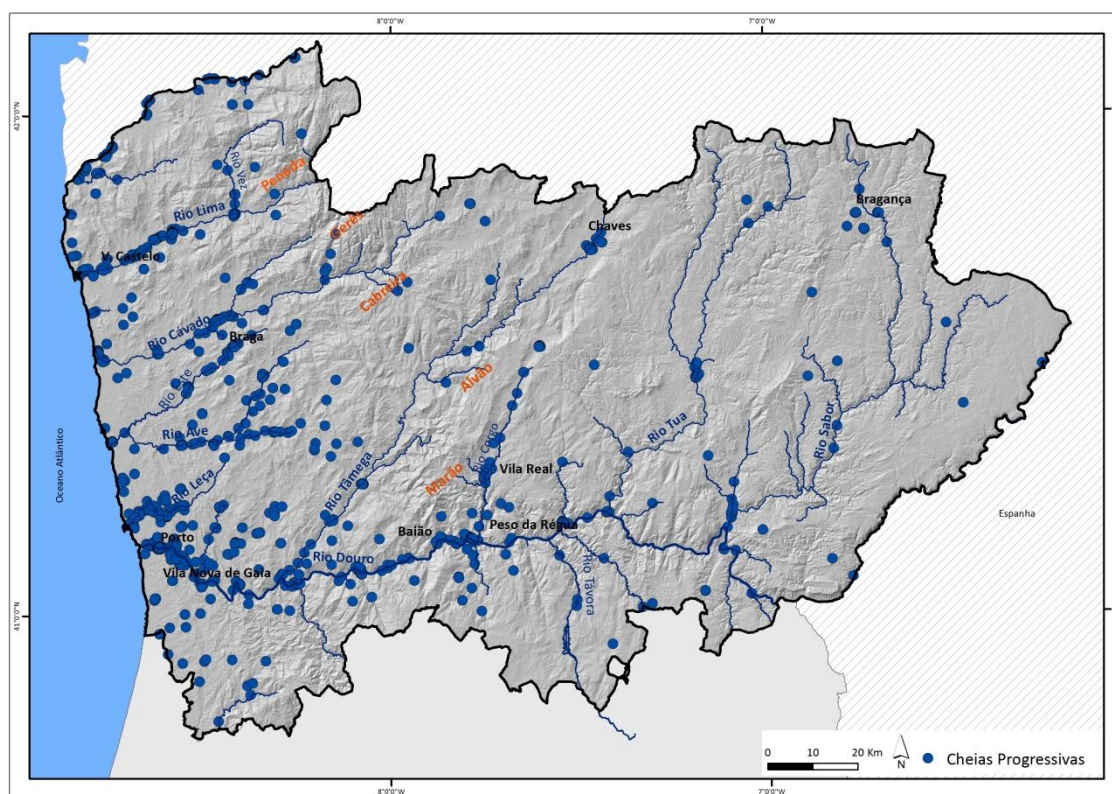


Figura 2.33. Cheias progressivas na região Norte (1865-2011).

As cheias progressivas ocorrem nos meses de inverno (78%), enquanto as cheias rápidas acontecem sobretudo nos meses de maio (13,2%), junho (23,2%) e setembro (16,5%).

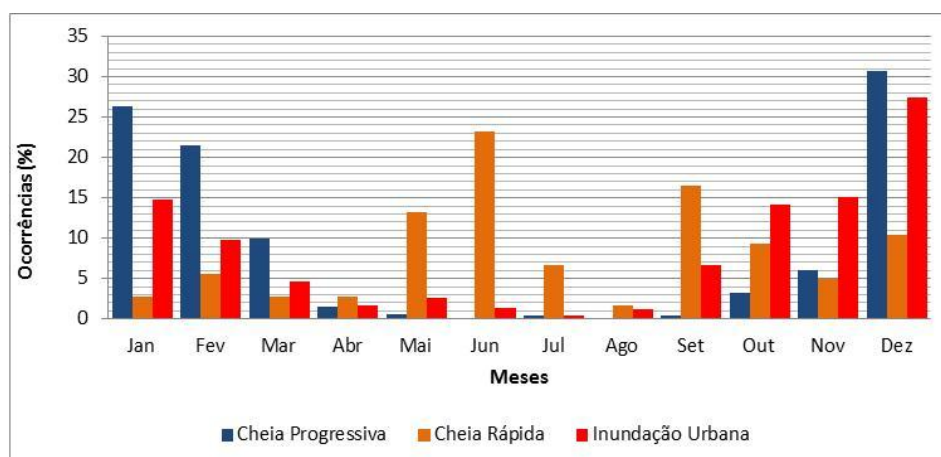
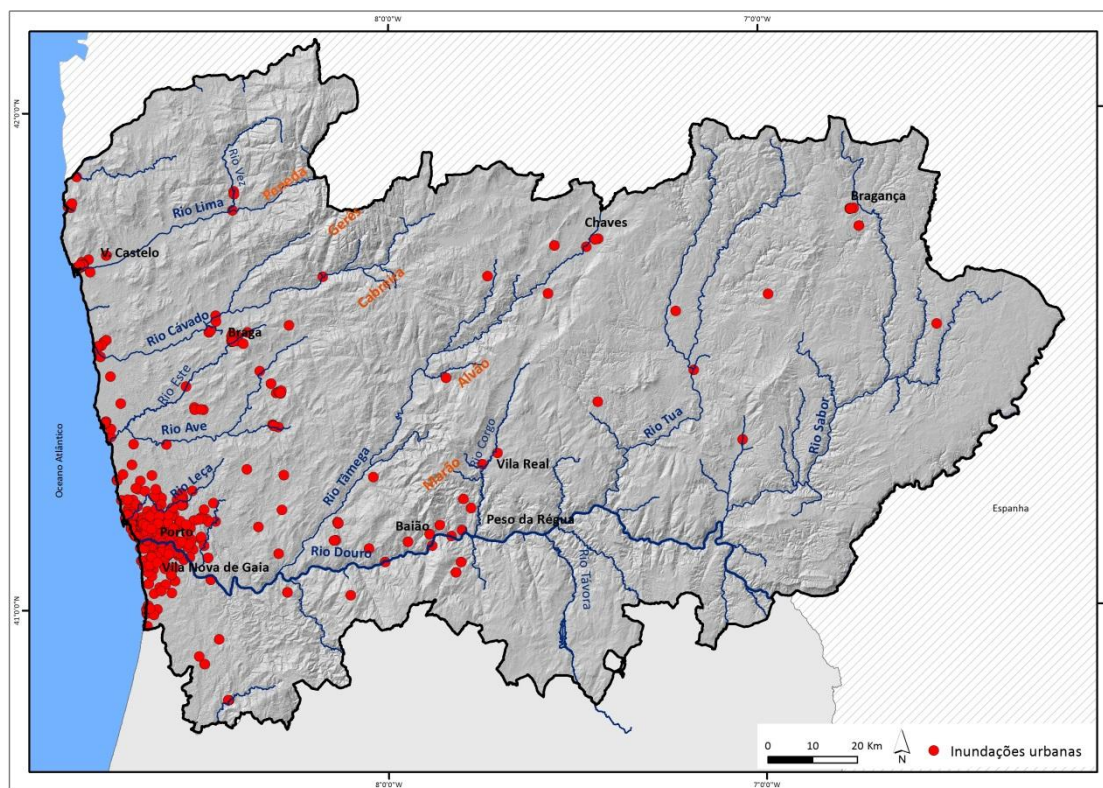


Figura 2.34. Tipologia das ocorrências por meses do ano (%) (1865-2011).



As inundações urbanas predominam nos meses de outubro (14,1%), novembro (15,1%), dezembro (27,4%) e janeiro (14,7%) (Figura 2.34).



*Figura 2.35. Inundações urbanas na região Norte (1865-2011).*

### 2.3.6. Principais fatores desencadeantes

Em primeiro lugar, convém ressaltar que esta análise é baseada na percepção transmitida pela imprensa. Em quase todas as notícias vem referido o fator desencadeante da ocorrência de cheia. De acordo com as notícias consultadas podemos verificar que a precipitação intensa é o principal fator desencadeante de cheias na região Norte. No Jornal de Notícias do dia 8 de Dezembro de 2001 pode ler-se *“O vento (com rajadas de 120 quilómetros por hora) e a chuva que assolaram o país, durante 36 horas, deixaram um rastro de destruição e morte....”*. Outros exemplos estão no Jornal de Notícias do dia 13 de fevereiro de 1966: *“Violentíssimo temporal com vento ciclónico assolou ontem o Porto”*, e no O Primeiro de Janeiro, do dia 19 de junho de 1955: *“Uma tromba-de-água caiu sobre a serra de Bornes provocou enormes inundações, causando prejuízos que ascenderam a milhares de contos”*. A precipitação intensa e de curta duração está associada a 30% das ocorrências. Em apenas 3% das ocorrências não foi possível especificar o fator desencadeante (Figura 2.36). Em 1% das ocorrências de cheias, o fator



desencadeante está identificado como misto. Exemplo disto refere-se a citação do Jornal de Notícias do dia 19 de fevereiro de 1960: “... o rio Douro aumentou muito de volume e de corrente em consequência das últimas chuvas que tem caído e também devido ao degelo que está a verificar-se no Alto Douro e em Trás-os-Montes.” Segundo as notícias, as descargas de barragem estão associadas a apenas 2 ocorrências, ou seja, 0,1% do total dos registos. De acordo com Silva and Oliveira (2001), as barragens existentes na bacia hidrográfica do Douro não contribuem de forma decisiva para o amortecimento das grandes cheias no curso do rio principal no território Português.

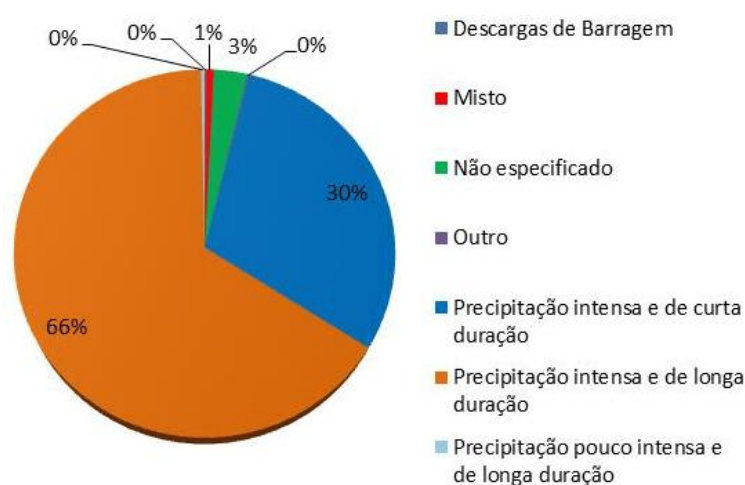


Figura 2.36. Principais fatores desencadeantes das ocorrências de cheias na região Norte.

### 2.3.7. Análise dos principais danos resultantes de cheias na região Norte

No conjunto das notícias pesquisadas, os tipos de danos mais registados foram danos funcionais em infraestruturas (30,9%), outros danos (30,3%) e os danos superficiais em infraestruturas (26,5%). Os danos diretos na população afetaram 27% das ocorrências. Deste modo, assinalaram-se 202 mortos, 59 feridos, 34 desaparecidos, 1873 evacuados e 15924 desalojados.

Como podemos verificar na Figura 2.37, são os concelhos de Penafiel (23,4%) e Porto (12,9%) que registam mais mortos, feridos ou desaparecidos. Contudo, em Penafiel apenas um evento causou 59 mortos (85% dos mortos registados no concelho). Esta ocorrência sucedeu no dia 4 de março de 2001, com a queda da ponte Hintze Ribeiro, arrastando para o rio Douro um autocarro e três automóveis. A localização desta ocorrência em Penafiel está dependente de uma decisão da Autoridade Nacional de Proteção Civil (ANPC), uma vez que quando caiu a

ponte foi decidido que, por questões operacionais de socorro, se instalava o centro de comando na margem Norte. Por isso, os mortos foram registados onde se encontrava o Comando Operacional.

De seguida surgem os concelhos de Braga (4,1%), Chaves (3,7%), Arcos de Valdevez (3,7%) e Vila Nova de Gaia (3,1%). Em 26 concelhos da região não se registaram mortos, feridos ou desalojados entre 1865 e 2011.

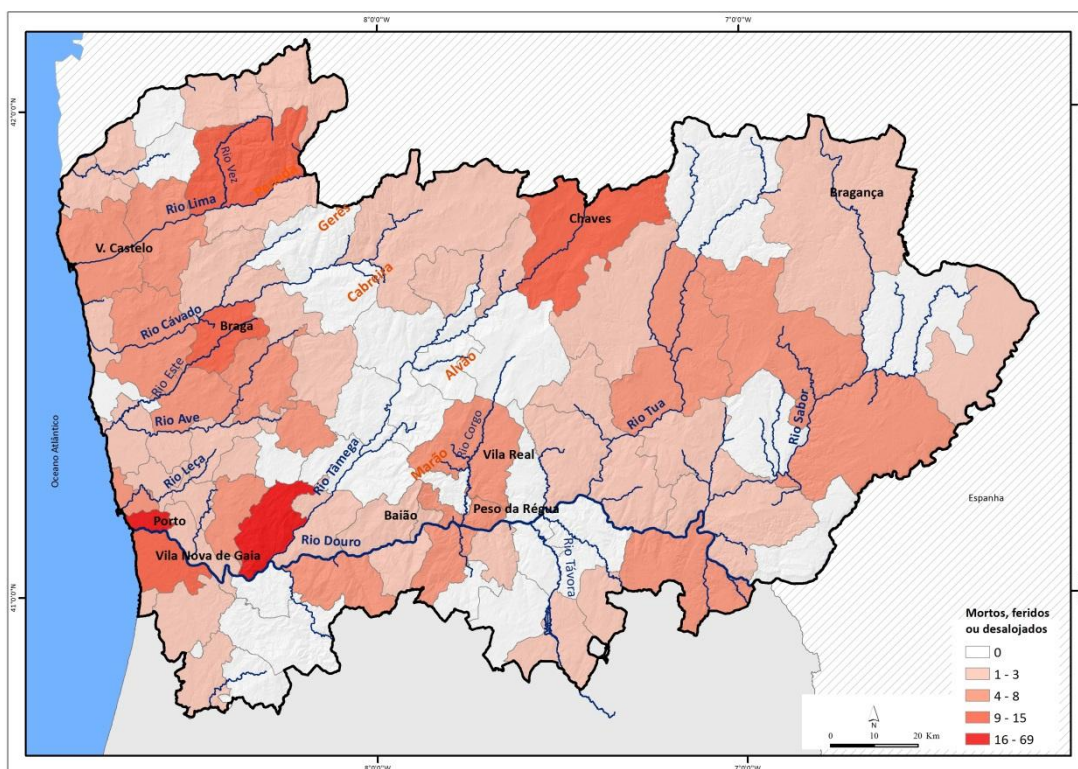


Figura 2.37. Danos humanos causados pelas cheias na região Norte: mortos, feridos ou desaparecidos, por concelho (1865-2011).

O concelho de Peso da Régua detém 47% do total de pessoas desalojadas ou evacuadas, devido sobretudo às cheias progressivas e recorrentes no rio Douro. Igualmente se destacam e devido principalmente às cheias progressivas do rio Douro, os concelhos de Vila Nova de Gaia, Porto e Alijó com 17, 12 e 4% dos desalojados e evacuados, respetivamente (Figura 2.38). O concelho de Chaves apresenta também valores elevados de desalojados e evacuados (7,1% do total), devido neste caso, às cheias no rio Tâmega.

Do total de ocorrências de cheias, apenas 7,5% originaram mortos, feridos ou desaparecidos, enquanto 20,6% das ocorrências causaram evacuados ou desalojados. Isto significa que as cheias na região originam mais facilmente desalojados ou evacuados, do que mortos, feridos

ou desalojados. Entre o final dos anos 30 e o fim da década de 60 do século XX registaram-se em quase todos os anos mortos, feridos ou desaparecidos. No entanto, foram os anos de 2001 e 1909 que registaram mais mortos, feridos ou desaparecidos, em consonância também com os anos que assinalaram mais ocorrências.

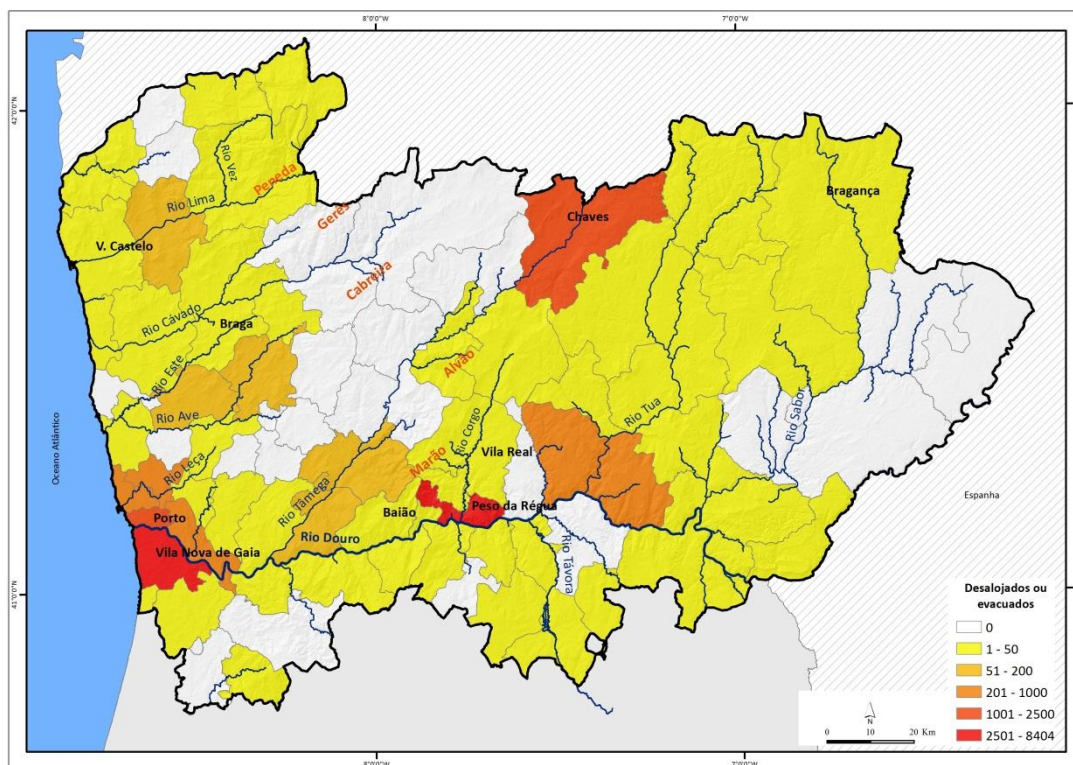


Figura 2.38. Danos humanos causados pelas cheias na região Norte: desalojados ou evacuados por concelho (1865 a 2011).

O número de mortos, feridos ou desaparecidos mais elevado sucedeu em 2001, quando pereceram 59 pessoas. Em 1909 registaram-se 40 mortos, feridos ou desalojados, em resultado das cheias que ocorreram no final do mês de dezembro, sobretudo no rio Douro. De seguida, destacam-se os anos de 1966 e 1960 com o registo de 15 mortos, feridos ou desaparecidos. A média anual de mortos, feridos ou desaparecidos é de 2 por ano, entre 1865 a 2011.

Na Figura 2.40, podemos identificar alguns anos com números elevados de evacuados ou desalojados devido a cheias na região. Esses anos são: 1979 (3621 pessoas), 1962 (2957 pessoas), 1989 (2952 pessoas), 1966 (2008 pessoas) e 1978 (1746 pessoas). Estes valores estão associados sobretudo às cheias progressivas no rio Douro. Nos restantes anos o número de

evacuados e desalojados não ultrapassa as 500 pessoas, sendo que a média anual é de 121 evacuados ou desalojados.

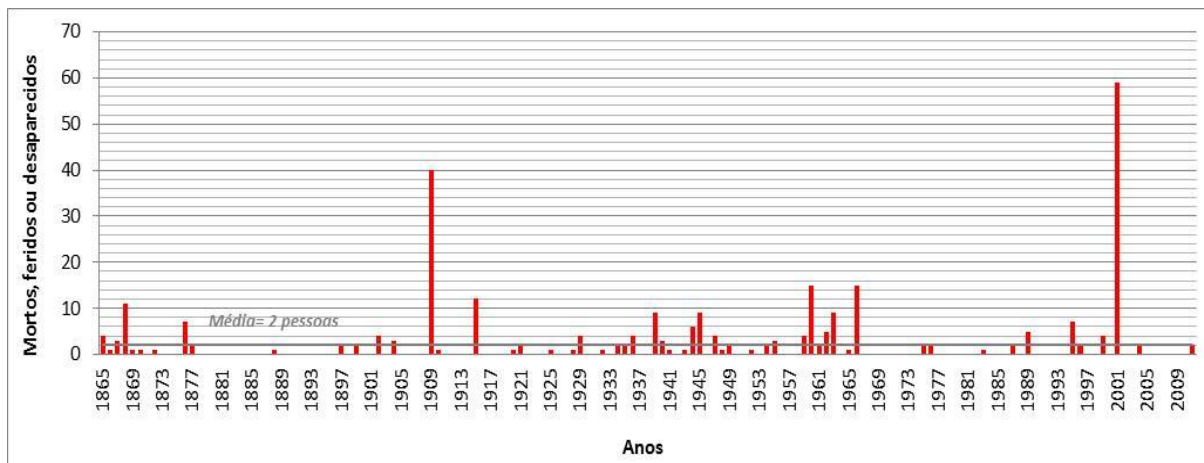


Figura 2.39. Mortos, feridos ou desaparecidos provocados por cheias na região Norte, por ano de ocorrência (1865-2011).

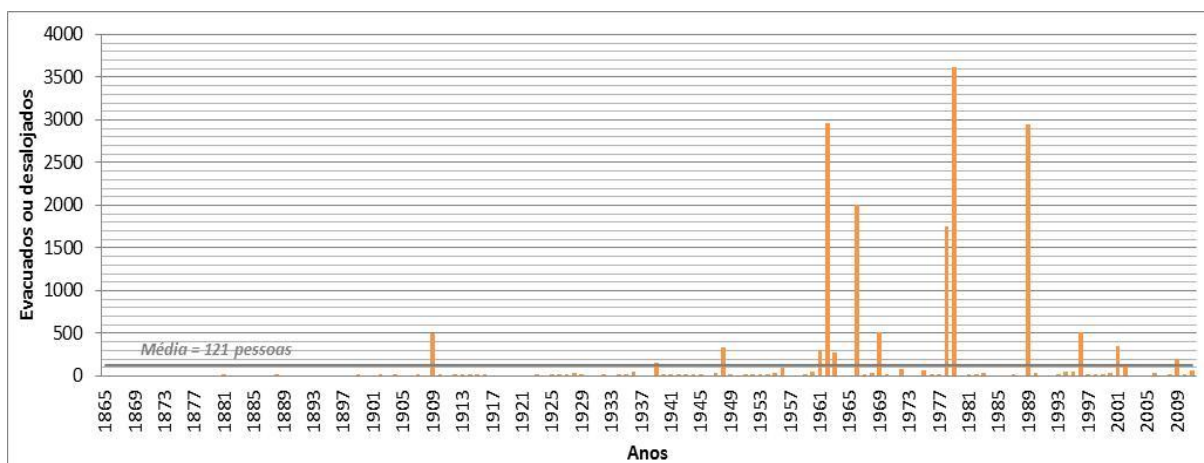


Figura 2.40. Evacuados ou desalojados provocados por cheias na região Norte, por ano de ocorrência (1865-2011).

A Figura 2.41 mostra a distribuição espacial das ocorrências que originaram vítimas mortais. A sua localização mostra uma distribuição pela região, ressaltando três concentrações nos concelhos do Porto, Braga e Penafiel. Como já referido anteriormente, o número mais elevado de mortos, registou-se em Penafiel, com a queda da ponte Hintze Ribeiro (59 vítimas mortais). Relativamente aos danos nas vias de comunicação, 16,5% das ocorrências resultaram no corte de estrada, sendo que 62% destes foram provocadas por cheias progressivas. O corte de circulação ferroviária está associado a apenas 1,5% das ocorrências. A duração da interrupção só surge descrita nos jornais em 4,2% das ocorrências com corte de circulação rodoviária ou ferroviária. Os danos em vias de comunicação estruturais afetaram 3,4% das ocorrências,



enquanto os danos em infraestruturas abrangeram 6,4% das ocorrências de cheias na região Norte. No que diz respeito aos outros danos, que afetaram 30,3% das ocorrências, a maioria (cerca de 70%) relaciona-se com danos nos campos e prejuízos na agricultura.

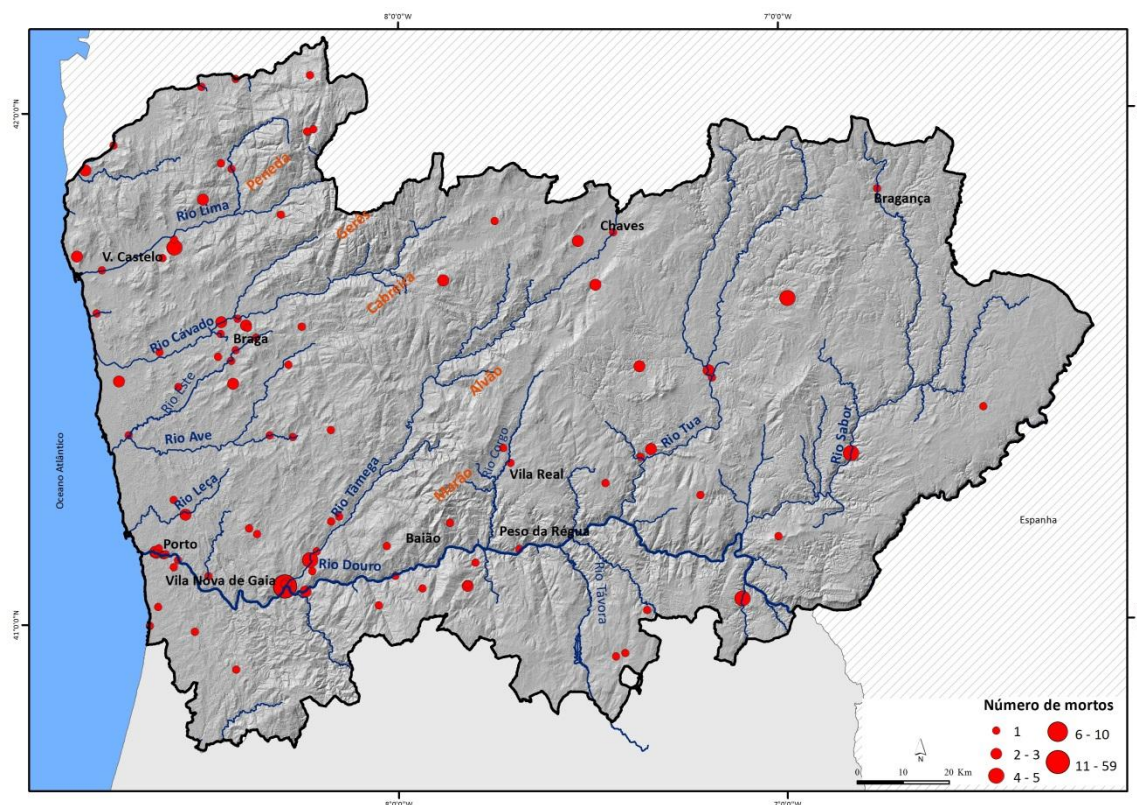


Figura 2.41. Localização das ocorrências com mortos originadas por cheias na região Norte (1865-2011).

### 2.3.8. Risco Social

O conceito de risco social baseia-se na probabilidade de excedência de um certo número de vítimas mortais devido a uma cheia (Bruijn *et al.*, 2010; Maaskant *et al.*, 2009; Van Alphen *et al.*, 2011). Este conceito fornece orientações sobre se o risco estimado é tolerado ou excessivo para um determinado local. Segundo Quaresma (2008, p. 88) “Os critérios de risco adotados no território de Hong Kong e em países como o Reino Unido, Canadá e Austrália incluem três níveis fundamentais (HSE, 1992): risco aceitável, risco inaceitável e zona ALARP (as low as reasonably practicable).” O risco não pode ser legitimado, exceto em casos atípicos, no nível inaceitável. No nível ALARP, a aceitabilidade do risco social está no limite, destinando-se a assegurar que todas as medidas possíveis e rentáveis para reduzir o risco foram consideradas (Department, 2011).

O risco social (SR) é expresso numa curva F-N (Jonkman *et al.*, 2003) (frequência vs. consequência), uma vez que simplifica a comparação dos efeitos provocados por diferentes desastres naturais (Guzzetti, 2000; Quaresma, 2008). As curvas F-N são usadas em vários países para a avaliação do risco de múltiplas atividades perigosas (Jonkman, 2005; Jonkman *et al.*, 2003).

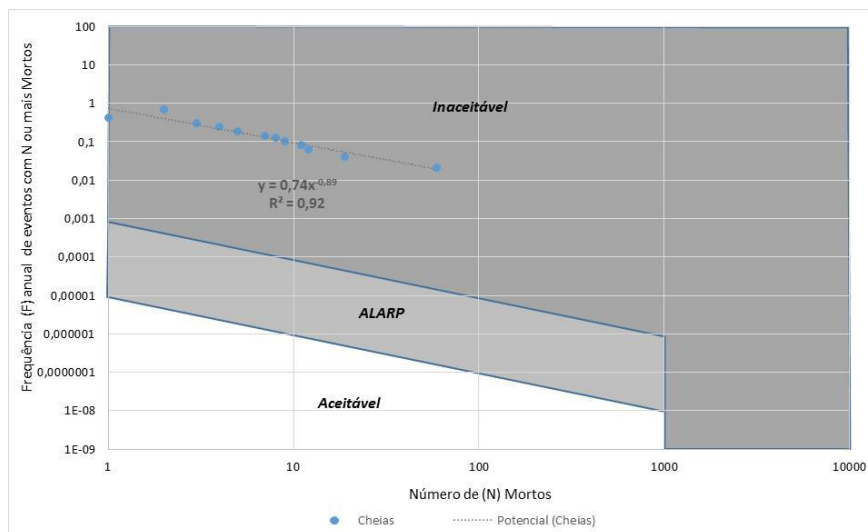


Figura 2.42. Curvas F-N (frequência vs. consequências) das ocorrências de cheias e critério de aceitabilidade social do risco.

As cheias registam uma frequência anual entre 0,1 e 1 para ocorrências entre 1 a 8 vítimas mortais). As ocorrências com mais de 9 vítimas mortais têm uma frequência anual inferior a 0,1. A Figura 2.42 mostra a comparação da curva F-N das ocorrências de cheias na região Norte com o critério de aceitabilidade social do risco do governo de Hong Kong (Department, 2011). Pela sua análise é perceptível que os riscos para a vida humana resultantes de ocorrências de cheias na região Norte são inaceitáveis, legitimando a necessidade de medidas de redução e prevenção do risco.

#### 2.4. Relação das ocorrências de cheias com os tipos de tempo de 1871 a 2011

A hidrologia e o clima desempenham um papel importante no desencadeamento das cheias (Llasat *et al.*, 2005). A ocorrência e a intensidade das cheias dependem das condições meteorológicas antes do evento (Kron *et al.*, 2012). Pattison and Lane (2012) referem algumas

vantagens na utilização de uma classificação dos tipos de tempo para investigar fatores climatológicos multivariados porque as classes são simples e fáceis de usar, a BD é longa e são baseados em ligações físicas entre o clima (processos de larga escala) e condições de tempo (escala local).

Muitos trabalhos têm sido apresentados com as possíveis associações entre os tipos de tempo e a precipitação ou a temperatura (Andrade *et al.*, 2012; Casado *et al.*, 2010; Espinoza *et al.*, 2012; Goodess & Jones, 2002; Hidalgo-Muñoz *et al.*, 2011; Raziei *et al.*, 2013; Santos *et al.*, 2005; Santos *et al.*, 2007; Trigo & DaCamara, 2000). No entanto, há poucos trabalhos sobre as ligações entre os tipos de tempo e a ocorrência de cheias (Petrow *et al.*, 2009). Duckstein *et al.* (1993) estudaram a ocorrência de padrões diários de circulação antes das cheias no Arizona e concluíram que há tipos de tempo que ocorrem com mais frequência antes das cheias do que noutros dias. Bárdossy and Filiz (2005) identificaram padrões de circulação responsáveis por grandes cheias em duas bacias hidrográficas em França e Espanha. Pattison and Lane (2012) descobriram que cinco tipos de tempo causaram 81,8% das cheias extremas, no Rio Éden, Reino Unido. Jacobeit *et al.* (2006) identificaram o padrão de circulação mais importante que levaram às cheias na Europa Central. Prudhomme and Genevievier (2011) relataram à escala da Europa, que o tipo de tempo oeste ciclónico ocorre com mais frequência antes e durante uma cheia do que a média anual.

Os objetivos deste ponto são investigar as condições atmosféricas que levam à ocorrência de cheias e identificar os tipos de tempo típicos relacionados com as cheias na região Norte. Os dados foram gentilmente cedidos pelo Prof. João Santos do CITAB - Centro de Investigação e de Tecnologias Agroambientais e Biológicas da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro.

#### 2.4.1. Tipos de circulação atmosférica

As médias diárias de pressão ao nível do mar (SLP) foram classificadas em tipos de circulação atmosférica (CWT) sendo usados os 56 conjuntos de SLP das reanálises 20th Century Reanalysis v2 (Compo *et al.*, 2011) fornecidas pela *National Oceanic and Atmospheric Administration* (NOAA): (<http://www.esrl.noaa.gov/psd/>). Os dados foram extraídos para o período temporal de 1871-2011, dentro do sector Euro-Atlântico (60°W-20°E, 26-64°N). As médias diárias foram obtidas pela média dos dados de 6 horas e definidos numa grade regular de 0,20 ° latitude × 0,2 ° longitude (~ 200 km espaçamento).

Para identificar CWTs, foi aplicado o método de clustering k-means sobre os vinte principais componentes dos dados diários de SLP. Foram obtidos 6 grupos ( $k=6$  clusters). Com efeito, um número maior de clusters poderia resultar em CWTs com frequências muito baixas de ocorrência e, portanto, com baixa importância e representatividade. Por outro lado, um número menor de CWTs pode levar a uma simplificação dos regimes, misturando condições muito diferentes na mesma CWT. Metodologias semelhantes foram aplicadas por Santos *et al.* (2005), num trabalho sobre os regimes de precipitação de inverno em Portugal e por Fraga *et al.* (2014) para isolar CWTs relevantes para a produção de vinho, no noroeste de Portugal.

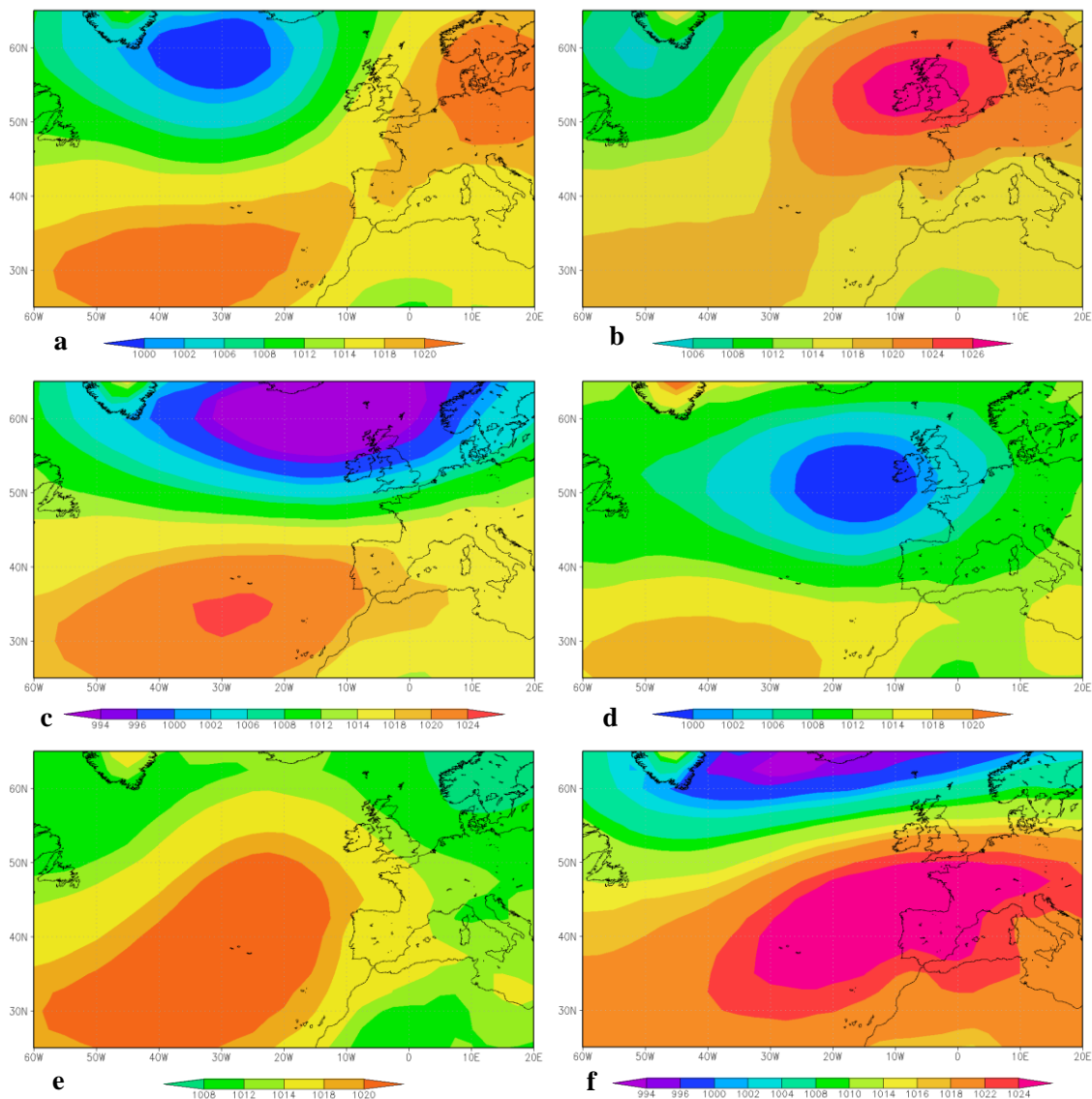


Figura 2.43. Compósitos de pressão média ao nível do mar (SLP) para cada CWT: a: AA – anticiclónico dual; b: E – vento leste; c: NW – vento de noroeste; d: C - ciclónico; e: R - crista; f: A – anticlónico.



Deste modo, 6 CWTs foram identificados e cada dia, entre 1871 e 2011 é introduzido num regime específico. Os campos compostos de cada CWT também são calculados pela média diária de todos os campos dentro de cada cluster, o que representa um padrão de fluxo típico (centróide cluster). O compósito SLP para cada CWT indica as condições de fluxo típicas (Figura 2.43). Os CWTs são aproximadamente os mesmos que os identificados por Fraga *et al.* (2014) e por isso, as suas características dinâmicas são bastante semelhantes e as mesmas designações são utilizadas. O tipo AA (anticiclónico dual) mostra dois sistemas de alta pressão, Açores e Europa Central (Figura 2.43 a), acompanhado de um forte sistema de baixa pressão sobre a alta latitude do Atlântico Norte. O tipo E (vento leste) mostra um forte anticiclone sobre o Reino Unido, dirigindo ventos de leste sobre a Península Ibérica (Figura 2.43 b). O tipo NW (vento noroeste) apresenta um padrão de SLP que pode conduzir ventos de oeste importantes sobre Portugal (Figura 2.43 c). O tipo C (ciclónico) revela uma forte circulação ciclónica de noroeste da Península Ibérica, provocando ventos de oeste-sudoeste sobre Portugal (Figura 2.43 d) (Fraga *et al.*, 2014).

O tipo R (crista) mostra uma crista oriental do Atlântico Norte, que pode induzir fortes ventos de norte-noroeste sobre Portugal (Figura 2.43 e). Por último, o tipo A (anticiclónico) é uma manifestação da fase positiva da NAO (Figura 2.43 f). Estes CWTs estão de acordo com classificações anteriores para Portugal (Santos *et al.*, 2005; Trigo & DaCamara, 2000) e também com outras classificações para o sector Euro-Atlântico, como a de Plaut and Simonnet (2001).

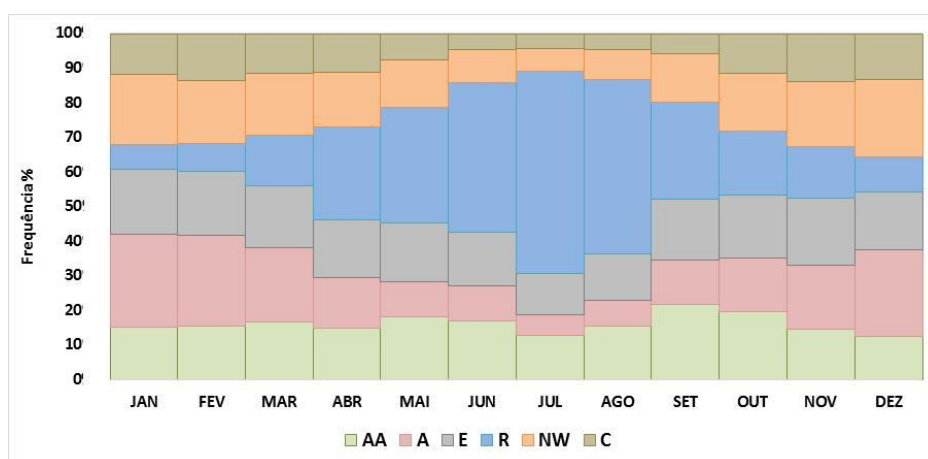


Figura 2.44. Frequências mensais de cada CWT, entre 1871 a 2011.

As frequências mensais de ocorrência de cada CWT mostram que A e NW são predominantes no inverno, enquanto o tipo R prevalece nos meses de verão (junho: 42%; julho: 59%; agosto: 50%) (Figura 2.44). Nos meses de verão, os tipos A, C e NW apresentam baixas frequências de

ocorrência. Nos meses de outono, verifica-se uma distribuição mais uniforme de todos os tipos de tempo, predominando em setembro, o tipo R (27%), em outubro o tipo AA (20%) e em novembro o tipo E (19%).

O tipo AA encontra-se distribuído ao longo do ano, com uma frequência mais elevada nos meses de setembro (21%) e outubro (20%). O tipo C apresenta baixas frequências ao longo de todo o ano, sendo mais relevante nos meses de novembro e dezembro com frequências de 13% em cada mês (Figura 2.44).

#### 2.4.2. Relação entre tipos de circulação atmosférica e as cheias

A metodologia utilizada tem como objetivo identificar as ligações entre os CWTs e ocorrências de cheias entre 1871 a 2011. Foi originalmente desenvolvida por Duckstein *et al.* (1993) e modificada por Cony M *et al.* (2008) e Prudhomme and Geneviev (2011). Um coeficiente estatístico foi obtido para mostrar a ocorrência de um determinado CWT, usando a relação entre as frequências relativas parciais e frequência relativa total dos CWTs e as cheias que ocorreram durante o período de estudo. Assim, o coeficiente de eficácia (CE) é definido:

$$CE = \frac{\frac{F_{Acheias}}{N_{cheias}}}{\frac{F_A}{N_T}} = \frac{F_{\%cheias}}{F_{\%}}$$

Equação 2.1

Sendo  $F_{Acheias}$  a frequência dos CWTs durante uma ocorrência de cheia;  $N_{cheias}$  é o número de cheias que se registaram durante o período de estudo;  $F_A$  é a frequência total de CWTs registados durante todo o período de estudo; e  $N_T$  é o número total de dias.

Calculou-se também a frequência de CWTs nos dez anteriores a cada ocorrência de cheia. O dia da ocorrência da cheia também é considerado, ou seja, 10 dias até à cheia referem-se ao dia da cheia e os 9 dias anteriores. O coeficiente de eficácia para os dez dias anteriores ( $CE_{10 dias}$ ) é definido:

$$CE_{10dias} = \frac{\frac{F_{A10diascheias}}{N_{cheias}}}{\frac{F_A}{N_T}} = \frac{F_{\%10diascheias}}{F_{\%}}$$

Equação 2.2

Em que  $F_{A_{10\text{dias cheias}}}$  é a frequência das CWTs nos dez dias anteriores à cheia.

Esta metodologia foi aplicada para cada tipo de cheia e por estação do ano (inverno: dezembro, janeiro, fevereiro; primavera: março, abril, maio; verão: junho, julho, agosto; outono: setembro, outubro, novembro).

Um CE maior que 1 indica que um certo CWT ocorre com mais frequência durante uma cheia de que um outro, enquanto um CE inferior a 1 indica que a CWT ocorre com menor frequência. Um valor de CE igual a 0.5 indica que um determinado CWT ocorreu apenas metade do tempo durante as ocorrências de cheias do que normalmente, enquanto um CE igual a 2 indica que o certo CWT ocorre duas vezes mais frequentemente nos dias de cheias do que em qualquer outro período (Prudhomme & Geneviev, 2011).

Os resultados mostram que 70% das ocorrências de cheias ocorrem em dias com o tipo de circulação C. Os restantes tipos têm uma representação bem menor, sendo que o tipo R ocorreu em 8% das ocorrências de cheias e os tipos AA e NW ocorreram em 7% dos dias.

Se analisarmos os dez dias anteriores à ocorrência das cheias, o tipo C registou-se em 45% dos dias. Os outros tipos de CWTs para os dez dias anteriores à ocorrência das cheias apresentam frequências menores: o tipo AA ocorreu em 17% dos dias, o tipo E em 13%, o tipo R em 11% e o tipo NW em 10% (Figura 2.45).

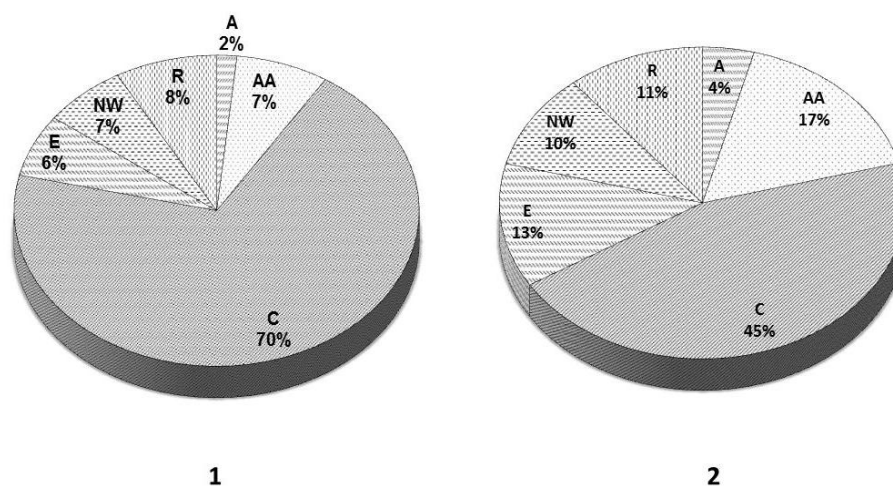


Figura 2.45. Frequências de CWTs registados nos dias de ocorrência de cheias (1) e frequências de CWTs nos dez dias anteriores à ocorrência das cheias.

A Figura 2.46 ilustra a frequência de ocorrência do número de dias caracterizados pelo tipo de tempo C, no período de 10 dias antecedentes de cada cheia presente na BDC-N. Quinze % das cheias caracterizam-se pela existência de circulação atmosférica do tipo C em 5 dos dez dias anteriores à data da cheia.

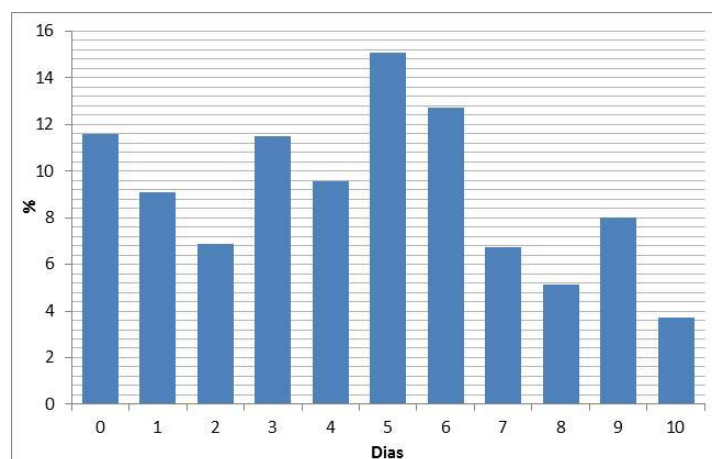


Figura 2.46. Número de dias caracterizados por tipo de tempo C, no período de 10 dias antecedentes de cada ocorrência de cheia.

Adicionalmente, em 20% das ocorrências verifica-se o tipo de tempo C em 8, 9 e 10 dias (9%, 6% e 6%, respectivamente), o que mostra a importância da ocorrência de sequências chuvosas prolongadas no desencadeamento das cheias, nomeadamente as cheias progressivas. Refira-se que cerca de 13% das cheias não registaram nos dez dias anteriores circulação atmosférica do tipo C (Figura 2.46).

Em todos os subperíodos, o tipo C prevalece nos dias da ocorrência das cheias (Figura 2.47). No primeiro período (1865 a 1930), 71% das ocorrências ocorrem em dias com o predomínio da circulação atmosférica do tipo C, e em 52% dos dez dias antecedentes à ocorrência da cheia são também caracterizados pela circulação do tipo C.

O segundo período (1931-1971) apresenta uma ligeira diminuição da frequência do tipo C nos dias das cheias (67% dos dias) e nos dez dias anteriores à cheia (41%). Os outros tipos CWTs detêm mais importância nos dez dias anteriores à ocorrência da cheia: AA (18% dos dias), R (13% dos dias) e NW (11% dos dias).

No último período (1972-2011), 74% dos dias de cheias caracterizam-se pela circulação do tipo C. Nos dez dias anteriores às cheias, 50% e 17% dos dias apresentam circulações dos tipos C e AA, respetivamente (Figura 2.47).

O Quadro 2.2 mostra que o tipo C ocorre sete vezes mais em dias com ocorrência de cheias do que em qualquer outro período. Os outros CWTs, para todas as cheias, é menor do que 1, ou seja, ocorrem com menos frequência em dias de cheias do que normalmente. Na ocorrência de cheias progressivas, o tipo C é predominante, com uma proporção de 8. O mesmo se aplica às inundações urbanas, com o coeficiente de 7. Em contrapartida, o coeficiente é próxima de zero para os outros CWTs, no caso das cheias progressivas e inundações urbanas. Para a ocorrência de cheias rápidas, o tipo C continua a ser importante, com o coeficiente de 3

(significado que ocorre três vezes mais em dias de cheias rápidas do que noutro período). No entanto, outros CWTs ganham importância: os tipos AA e NE têm um coeficiente superior a 1, ou seja, os padrões ocorrem mais frequentemente durante uma cheia rápida do que normalmente (Quadro 2.2).

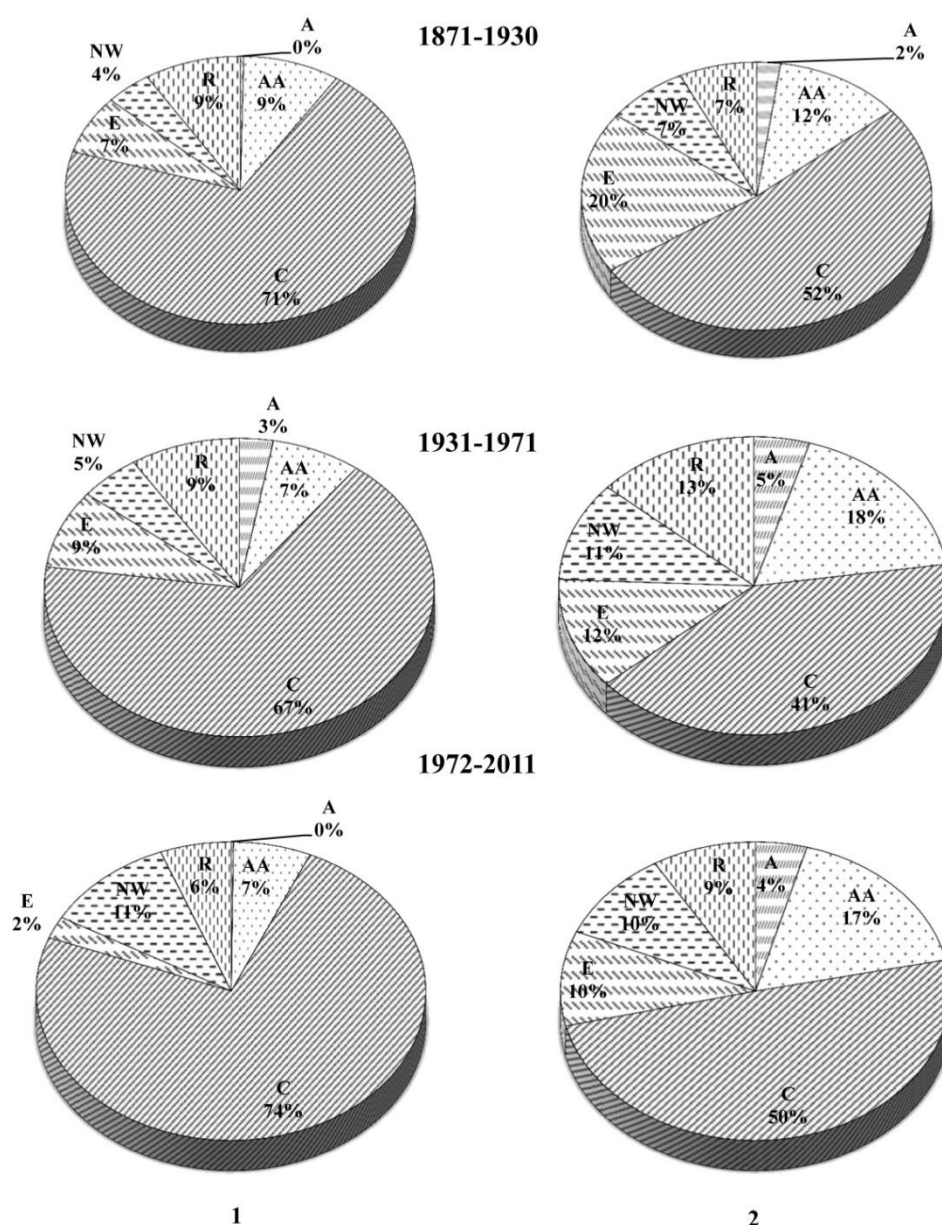


Figura 2.47. CWTs registadas no dia da ocorrência de cada cheia e (2) CWTs registados nos 10 dias antecedentes a cada ocorrência de cheia em três subperíodos: antes de 1930, 1931-1971 e 1972-2011.

O Quadro 2.3 mostra o CE por tipo de inundação e CWT para os 10 dias antecedentes à ocorrência das cheias. O tipo C obteve valores elevados do coeficiente de eficácia para todas as cheias (4,8), para as cheias progressivas (3,4) e inundações urbanas (1,2). Em contrapartida,

o CE está próximo do zero para todos os CWTs, para as cheias rápidas, geralmente associadas a fenômenos de curta duração e espacialmente localizados.

*Quadro 2.2. Coeficiente de Eficácia (%) para o dia da ocorrência de cheias, por tipo de inundação e CWT.*

CWTs	Cheias	Cheias Progressivas	Cheias Rápidas	Inundações Urbanas
<b>A</b>	0,1	0,0	0,6	0,1
<b>AA</b>	0,5	0,4	<b>1,1</b>	0,4
<b>C</b>	<b>7,4</b>	<b>8,1</b>	<b>3,3</b>	<b>7,2</b>
<b>E</b>	0,4	0,3	1,3	0,3
<b>NW</b>	0,4	0,5	0,4	0,4
<b>R</b>	0,3	0,2	0,5	0,5

O CE também foi calculado para cada estação do ano e as cheias foram agrupadas no período de 3 meses de cada estação. No outono, inverno e primavera, o tipo C está mais associado à ocorrência de cheias. No entanto, no verão, os tipos mais associados à ocorrência de cheias são o A e o E (Quadro 2.4). Isto pode dever-se ao fato de que as cheias que ocorrem no verão raramente são observadas a uma escala regional e estão associadas a pequenas anomalias de pressão mal descritas por CWTs de grande escala.

*Quadro 2.3. Coeficiente de Eficácia (%) para os 10 dias antecedentes à ocorrência de cheias, por tipo de inundação e CWT.*

CWTs	Cheias	Cheias Progressivas	Cheias Rápidas	Inundações Urbanas
<b>A</b>	0,3	0,1	0,1	0,1
<b>AA</b>	1,0	0,5	0,1	0,4
<b>C</b>	4,8	3,4	0,2	1,2
<b>E</b>	0,8	0,4	0,1	0,3
<b>NW</b>	0,7	0,3	0,1	0,3
<b>R</b>	0,4	0,2	0,1	0,2

Os resultados mostram que à escala da região Norte, alguns tipos de tempo de circulação têm anomalias positivas significativas com a frequência de ocorrência de cheias, ou seja, eles ocorrem com mais frequência antes e durante uma cheia do que em qualquer outro período.

Quadro 2.4. Coeficiente de Eficácia (%) por estação do ano e CWT.

CWTs	Outono	Inverno	Primavera	Verão
<b>A</b>	0,1	0,0	0,2	2,6
<b>AA</b>	0,6	0,3	0,9	0,6
<b>C</b>	5,9	6,2	5,3	0,8
<b>E</b>	0,5	0,2	0,5	2,5
<b>NW</b>	0,6	0,3	0,6	0,2
<b>R</b>	0,4	0,8	0,4	0,6

Os resultados obtidos mostram a importância do tipo C na ocorrência das cheias, tanto no dia, como nos dez dias antecedentes (Santos *et al.*, 2015). Mas se olharmos para as estações do ano, no verão, os tipos A e E estão mais relacionados com a ocorrência de cheias. Isto pode dever-se a situações espacialmente localizadas que não são detetadas pela circulação geral da região. Outros trabalhos também revelaram a associação do tipo de tempo ciclónico com as cheias, como Pattison and Lane (2012), para o rio Éden no Reino Unido, Prudhomme and Genevieve (2011) para a Europa e Wilby and Quinn (2013) para a Grã-Bretanha.

## 2.5. Conclusão e seleção das bacias hidrográficas em estudo

Neste capítulo apresentou-se a construção e os principais resultados da BDC-N com base em fontes históricas entre 1865 e 2011. Esta BDC-N, produzida a partir de informação proveniente de jornais apresenta algumas limitações como por exemplo:

- Os jornais dos primeiros anos do século XX cobrem preferencialmente centros urbanos ou áreas cuja acessibilidade depende em grande parte de redes de transporte específicas;
- Nem sempre é referido de forma exata o enquadramento temporal e espacial da ocorrência, complicando a tarefa de georreferenciação e a análise posterior dos eventos;
- Por vezes as notícias não indicam o número de pessoas afetadas;
- Possíveis efeitos da censura no teor das matérias publicadas durante o regime ditatorial registado em Portugal.

Apesar destas dificuldades, a BDC-N permite conhecer a distribuição espacial e temporal, os principais danos e a magnitude das ocorrências de cheias que sucederam na região Norte, entre 1865 e 2011. A informação histórica permite a validação de modelos de previsão

(Guzzetti & Tonelli, 2004; Pereira, 2009), sendo possível a identificação de áreas com mais ocorrências para a realização de estudos de pormenor a escalas municipais ou locais.

No total estão registadas 1873 ocorrências entre 1865 e 2011, das quais 508 provocaram mortos, feridos, desalojados, evacuados ou desaparecidos. As ocorrências são sobretudo cheias progressivas (58% do total) e concentram-se principalmente nos principais centros urbanos e ao longo dos principais rios da região, resultado da maior exposição e vulnerabilidade da população que ocupa, indevidamente, os leitos de cheia. Os concelhos de Porto e Vila Nova de Gaia concentram 26,5% das ocorrências de cheias. As cheias progressivas ocorrem com maior frequência nos meses de inverno, enquanto as cheias rápidas acontecem sobretudo nos meses de maio, junho e setembro.

A análise da distribuição temporal mostra uma grande variabilidade ao longo dos 147 anos da BDC-N, identificando-se uma ténue tendência de aumento de 0,066 ocorrências por ano.

Através da análise ao risco social verificou-se que os riscos para a vida humana resultantes de ocorrências de cheias na região Norte encontram-se no nível inaceitável.

A relação do tipo de condição atmosférica C (ciclónico) com a frequência de cheias na região Norte é positiva, ou seja, este tipo ocorre com mais frequência antes e durante uma cheia do que em qualquer outro período.

A partir desta BDC-N selecionaram-se algumas bacias de estudo a análise hidro-meteorológica das cheias e para a determinação de limiares críticos de precipitação no desencadeamento de cheias e a sua aplicação a sistemas de alerta para a proteção civil. Deste modo, as bacias escolhidas foram: Vez, Este, Corgo e Távora (Figura 2.48). A escolha destas bacias hidrográficas baseou-se em primeiro lugar na existência de dados:

- Registo de ocorrências de cheias na BDC-N;
- Disponibilidade de registos de precipitação diária de pelo menos quatro estações meteorológicas;
- Disponibilidade de registos de dados hidrométricos.

Em segundo lugar, pretende-se estudar bacias com enquadramentos morfológicos diferentes, fazendo a distinção primordial entre o litoral (Bacias do Vez e Este) e o interior (Bacias do Corgo e Távora). A bacia do Vez localiza-se nas montanhas do Noroeste, local onde os valores de precipitação são mais elevados. A bacia do Este localiza-se no litoral, com vales amplos, abrangendo a cidade de Braga. As bacias do Corgo e Távora localizam-se no interior da região, uma na margem esquerda e outra na margem direita do rio Douro, após a barreira de



condensação provocada pelos sistemas montanhosos Marão e Alvão e por isso com registos de precipitação muito distintos do que os que se verificam no Alto Minho.

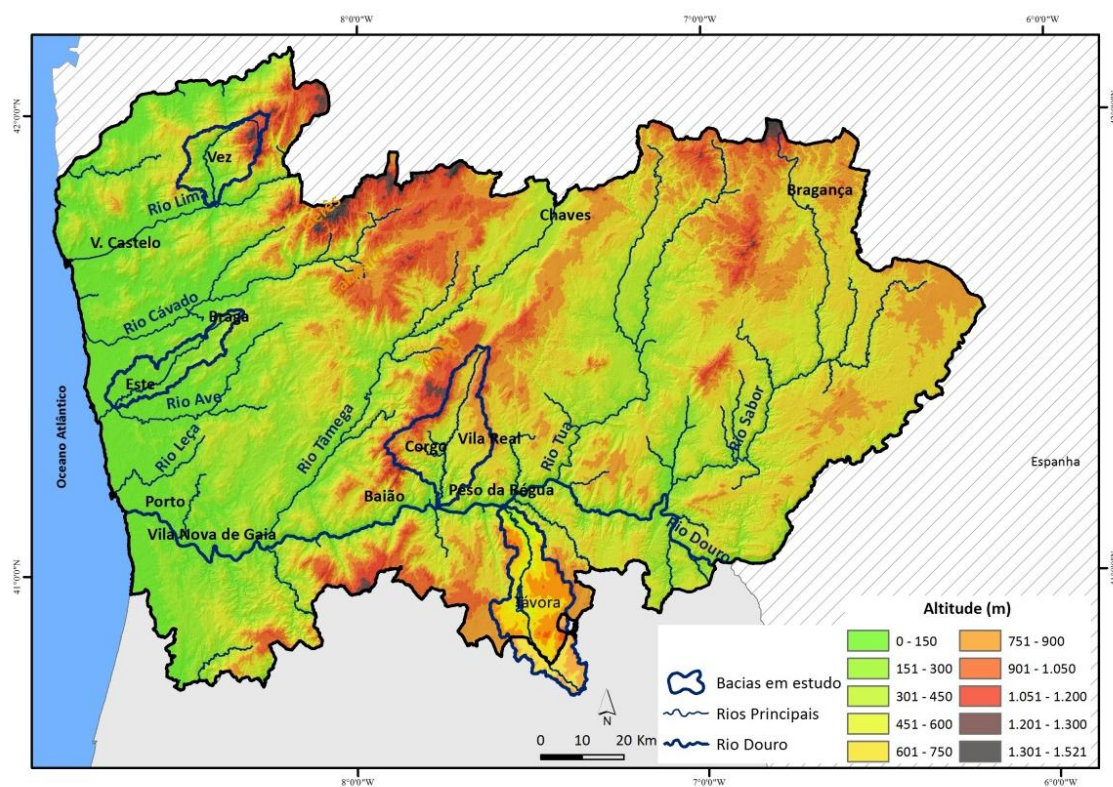


Figura 2.48. Localização das bacias em estudo.



## Capítulo 3. Caracterização das bacias hidrográficas em estudo

### 3.1. Recolha de Informação

O primeiro passo deste trabalho prende-se com a recolha de informação que servirá de base à caracterização das bacias. Foram utilizadas as folhas da Carta Militar de Portugal, 1:25000, do Instituto Geográfico do Exército, proporcionando informação relativa à altimetria e à rede de drenagem. Utilizaram-se para a bacia do rio Vez: as folhas nº: 4, 8, 9, 15, 16, 17 e 29; para a bacia do rio Este: 56, 69, 70, 82, 83, 84, 96 e 97; para a bacia do rio Corgo: 74, 88, 101, 102, 114, 115, 126 e 127; e para a bacia do rio Távora: 127, 128, 138, 139, 148, 149, 158, 159, 169, 170 e 180. Quanto à geologia, utilizou-se a carta geológica de Portugal, à escala 1:50000 do LNEG - Laboratório Nacional de Energia e Geologia: para a bacia do rio Vez, as folhas nº 1B, 1C, 1D, 5B; para a bacia do rio Este, as folhas 5C, 5D, 9A, 9B; para a bacia do Corgo, as folhas nº 6D, 10 A, 10C, 10D e para a bacia do rio Távora, as folhas nº: 10D, 14B, 14D, 17B. Foi usada também a carta geológica à escala 1:200000, Folha 2. Relativamente ao uso e ocupação do solo utilizou-se a cartografia *Corine Land Cover* do Instituto Geográfico Português à escala 1:100 000, nos anos 1990, 2000 e 2006.

Toda a informação recolhida foi tratada em SIG. Depois de estar integrada na BDG, procedeu-se à delimitação das bacias hidrográficas, com base na altimetria e através da extensão *ArchHydro*, do software *ArcGis*.

As características fisiográficas - geometria, sistema de drenagem, relevo, geologia, solos e vegetação - são de grande importância para o estudo de uma bacia hidrográfica ([Lencastre & Franco, 2003](#)) e a sua abordagem é fundamental no contexto do conhecimento dos fatores condicionantes das cheias.

### 3.2. Fatores condicionantes das cheias

Os fatores condicionantes das cheias envolvem várias componentes biofísicas que contribuem para a maior ou menor propensão para as bacias hidrográficas serem afetadas por este fenómeno. Estes fatores operam no sentido de acelerar (ou retardar) a circulação de água dentro da bacia ([Smith & Ward, 1998](#)). Para além dos fatores naturais da bacia, a atividade humana pode atuar como um fator intensificador das cheias, contribuindo para a alteração de

variáveis hidrológicas chave, como o armazenamento de água no solo e a infiltração (Smith & Ward, 1998).

Os fatores condicionantes aqui considerados foram divididos em permanentes e variáveis. Os fatores permanentes estão relacionados com os fatores que dificilmente se alteram à escala da vida humana: geometria, substrato geológico, relevo, rede de drenagem e solos. Os fatores variáveis referem-se aos que se modificam no decurso do tempo, em resultado da ação humana e/ou da dinâmica de sistemas naturais (ex. coberto vegetal).

### **3.2.1. Fatores permanentes**

#### **3.2.1.1. Características geométricas**

Na análise das características geométricas importa estudar: a área, perímetro, comprimento e forma da bacia (Ramos, 2009).

A área e a forma são as características mais importantes para o estudo das cheias no que diz respeito à componente geométrica das bacias hidrográficas (Ramos, 2009). A área (A) é a área plana (em projeção horizontal) limitada pelas linhas de separação topográfica (Lencastre & Franco, 2003), enquanto o perímetro (P) corresponde à linha divisória de águas da bacia (Ramos, 2009). A área é importante porque quanto maior for a superfície de captação, maior será o seu escoamento e por isso, maior será o seu caudal de ponta de cheia (Ramos, 2009; Smith & Ward, 1998). Por outro lado, o tempo de resposta numa bacia pequena é teoricamente mais baixo, uma vez que a água que circula na bacia tem um percurso menor e, o seu caudal responde mais depressa aos quantitativos de precipitação (Leal, 2011; NOAA, 2010).

A forma da bacia também tem influência no registo de cheias, sendo que a tendência será maior quanto mais próxima da forma circular for a bacia. Esta situação deve-se ao facto de que numa bacia de forma circular existe uma maior probabilidade de toda a sua extensão ser afetada por precipitação. Quanto mais se aproximar da forma circular, mais o escoamento procedente de várias partes da bacia chega ao seu sector terminal com menor desfasamento no espaço e no tempo, em relação ao período em que ocorre o evento de precipitação (NOAA, 2010; Ramos, 2009) (Figura 3.1).

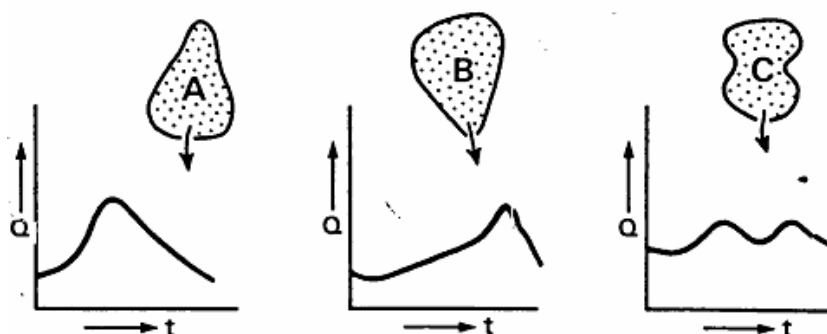


Figura 3.1. Influência da forma da bacia (A,B,C) no hidrograma de cheia. Q: caudal; t: tempo.

Fonte: Gregory & Walling (1973, p. 269).

Existem distintos critérios de definição do comprimento da bacia. Neste trabalho, optou-se pelo critério seguido por Lencastre e Franco (2003), ou seja, o comprimento da bacia (L), corresponde ao comprimento do respetivo curso de água mais longo, desde a secção de referência até à cabeceira mais distante na bacia. Todos estes parâmetros foram calculados automaticamente em SIG.

A quantificação da forma permite a comparação entre a forma da bacia e a de figuras geométricas. Para tal recorre-se a alguns índices de forma.

- *Coeficiente de Compacidade ou Índice de Gravelius (Kc):*

$$Kc = 0,28 \frac{P}{\sqrt{A}}$$

Equação 3.1

Em que:

P é o perímetro da bacia (km) e A é a área da bacia (km<sup>2</sup>).

No mínimo será igual a 1, correspondendo a uma bacia circular. Quanto mais irregular for a bacia, tanto maior será o coeficiente de compacidade. A tendência para grandes cheias será tanto maior quanto mais próximo da unidade for o valor deste coeficiente, uma vez que o escoamento procedente dos vários afluentes chega ao sector jusante com menor diferença no espaço e no tempo em relação ao período em que decorre a chuva (Ramos, 2009).

- *Fator de Forma (Horton) (Kf):*

$$Kf = \frac{A}{L^2}$$

Equação 3.2

Em que:

A é a área da bacia (km<sup>2</sup>) e L é o comprimento da bacia (em km).

Este índice procura relacionar a forma da bacia com um retângulo. No mínimo será igual a 0 (bacia alongada) e no máximo igual a 1 (bacia arredondada). Uma bacia com um fator de forma baixo está menos sujeita a cheias que outra da mesma dimensão, mas com um fator de forma maior. Numa bacia estreita e longa, com um fator de forma baixo, há uma menor possibilidade de ocorrência precipitação intensa que cubra simultaneamente toda a bacia (Lencastre & Franco, 2003).

- Índice de circularidade (Miller, 1953) (*I<sub>c</sub>*)

$$Ic = \frac{4 \pi A}{P^2}$$

Equação 3.3

Em que:

A é a área da bacia (km<sup>2</sup>) e P é o perímetro da bacia (km).

O valor máximo deste índice é 1, correspondendo a uma bacia circular. Como explicado para o fator de forma, uma bacia circular está mais sujeita a cheias.

- Índice de Alongamento (Schumm, 1956) (*I<sub>a</sub>*)

$$Ia = \frac{2\sqrt{\left(\frac{A}{\pi}\right)}}{L}$$

Equação 3.4

Em que:

A é a área da bacia (km<sup>2</sup>) e L é o comprimento da bacia (em km).

Este índice compara a forma da bacia com a de um círculo. O valor máximo é 1 e quanto mais próximo de 0 mais alongada é a bacia.

As bacias hidrográficas em estudo têm áreas entre 244 km<sup>2</sup> (bacia do rio Este) e 533 km<sup>2</sup> (bacia do rio Távora).

Quadro 3.1. Parâmetros referentes à geometria das bacias hidrográficas em estudo.

Bacias Hidrográficas	Área A (km <sup>2</sup> )	Perímetro P (km)	Comprimento da Bacia L (km)	Factor Forma (Horton) Kf	Índice de Gravelius kc	Índice de Circularidade (Miller) Ic	Índice de Alongamento (Schumm) Ia
<b>Vez</b>	262,8	122,5	41,4	0,15	2,12	0,22	0,44
<b>Este</b>	243,9	146,3	55,5	0,08	2,62	0,14	0,32
<b>Corgo</b>	468,6	176,4	54,5	0,16	2,28	0,19	0,45
<b>Távora</b>	533,1	211,5	72,5	0,10	2,57	0,15	0,36

Quanto à forma, podemos verificar (Quadro 3.1 e Figura 3.2) que as bacias dos rios Este e Távora têm formas mais alongadas. As bacias dos rios Corgo e Vez encontram-se em situação intermédia, como mostram os resultados dos parâmetros geométricos (o caso do índice de alongamento).

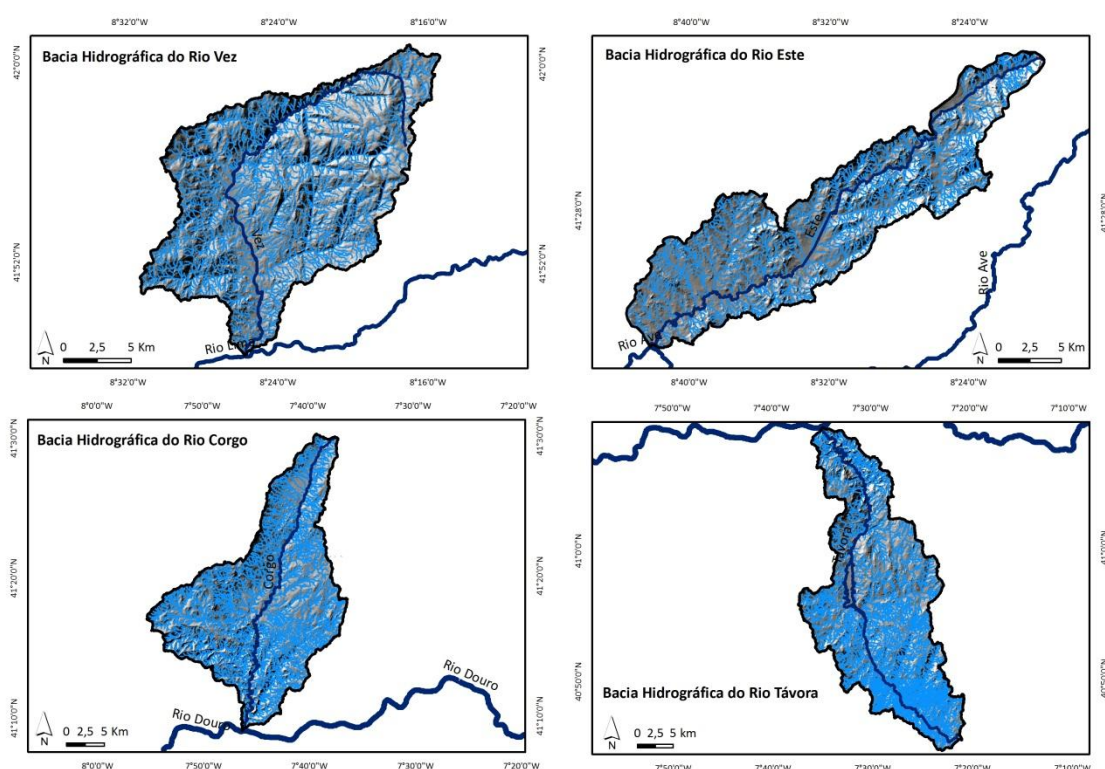


Figura 3.2. Bacias hidrográficas e redes de drenagem.

### 3.2.1.2. Sistema de Drenagem

A rede de drenagem é uma das características mais importantes para a avaliação do potencial de escoamento. Nas bacias hidrográficas com redes de drenagem densas, os caudais de ponta

são mais elevados e ocorrem mais cedo do que em bacias com redes menos densas (NOAA, 2010). Quando a água chega aos canais fluviais atinge maiores velocidades, diminui o tempo de concentração, afetando a magnitude do pico de cheia (Pallard *et al.*, 2009). Deste modo, uma densidade de drenagem mais elevada gera caudais de ponta de maior magnitude e que ocorrem mais cedo. A estas consequências se junta uma maior erosão fluvial e maior capacidade de transporte de sedimentos (Leal, 2011).

O estudo da rede de drenagem é efetuado através, por exemplo, da ordem dos cursos de água, da magnitude ou do comprimento do curso de água principal. No entanto, esta análise não permite efetuar comparações entre bacias hidrográficas com áreas muito diferentes, dado que resultam em valores não ponderados pela área (Leal, 2011). O mesmo já não acontece com a densidade de drenagem ou com a densidade hídrica.

- *Ordem dos cursos de água*

A ordem dos cursos de água é uma classificação que reflete o grau de ramificação da rede hidrográfica, segundo o critério apresentado por Horton (1945) e modificado por Strahler (1952; 1957). Os canais que não têm tributários são definidos como de ordem 1, os de ordem 2 são os que derivam da confluência de dois canais de ordem 1, os de ordem 3 são os que resultam da junção de dois canais de ordem 2 e assim sucessivamente (Ramos, 2009).

- *Magnitude (Shreve, 1966)*

A magnitude corresponde ao número de canais de ordem 1, segundo o critério de Strahler (Ramos, 2009).

- *Comprimento do curso de água principal*

É a distância em km, da cabeceira até à desembocadura do curso de água de ordem mais elevada.

- *Densidade de Drenagem (Dd)*

$$Dd = \frac{Ct}{A}$$

*Equação 3.5*



Em que:

Ct é o comprimento total dos cursos de água da bacia (km); A é a área da bacia (km<sup>2</sup>). Maior densidade de drenagem significa mais canais por unidade de área ou mais proximidade entre eles (Garde, 2006). Segundo Hipólito & Vaz (2011, p. 486) “Quanto mais alta forem a densidade de drenagem e a capacidade de transporte, mais facilmente o escoamento se concentra na secção de saída e maior será o caudal de ponta”. Pelo contrário, em bacias mal drenadas, a precipitação provoca principalmente escoamento subsuperficial e escoamento subterrâneo, de forma mais lenta, originando pontas de cheia menores (Hipólito & Vaz, 2011). No quadro seguinte, podemos verificar a designação para cada classe de densidade de drenagem tendo por base um mapa topográfico à escala 1:25000 (Gregory & Walling, 1973).

Quadro 3.2. Densidade de drenagem para a escala 1:25000.

Densidade de Drenagem (Dd) (km / km <sup>2</sup> )	Classe
< 3	Muito baixa
3 ≤ Dd < 5	Baixa
5 ≤ Dd < 7	Média
7 ≤ Dd < 9	Elevada
9 ≤ Dd < 11	Muito elevada
Dd ≥ 11	Extremamente elevada

- Densidade Hídrica (Dh) (Horton, 1945)

$$Dh = N/A$$

Equação 3.6

Em que:

N é o número total dos cursos de água existentes na bacia (corresponde à magnitude da bacia (Shreve)) e A é a área da bacia em km<sup>2</sup>. Este parâmetro relaciona o número de rios ou canais com a área da bacia hidrográfica.

- Coeficiente de Manutenção (Schumm, 1956) (Cm)

$$Cm = \frac{1}{Dd} \times 1000$$

Equação 3.7

Em que:

Dd é a densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>)

Este parâmetro é considerado um dos mais importantes na análise da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica. A suscetibilidade a cheias aumenta, quanto mais baixa for a densidade de drenagem, uma vez que a concentração da água nos canais fluviais é mais veloz (Ramos, 2009).

- *Coefficiente de Torrencialidade (Ct)*

$$Ct = Dh \times Dd$$

*Equação 3.8*

Em que:

Dh é a densidade hídrica e Dd é a densidade de drenagem.

O coeficiente de torrencialidade é apropriado para pequenas bacias hidrográficas, afetadas pelo escoamento torrencial, sendo o seu valor tanto maior quanto mais elevado for a torrencialidade da bacia (Ramos, 2009).

Das bacias em estudo, a bacia hidrográfica do rio Távora é a que apresenta uma hierarquia (8) e magnitude (3563) maiores (Quadro 3.3). A bacia do rio Corgo tem uma hierarquia de 7 e as bacias do Vez e Este, uma hierarquia de 6. Todas as bacias têm uma densidade de drenagem considerada baixa (< 5 km/km<sup>2</sup>). A densidade hídrica é mais elevada nas bacias dos rios Távora e Corgo (> 8,4 cursos de água/km<sup>2</sup>).

*Quadro 3.3. Parâmetros referentes à rede de drenagem nas bacias em estudo.*

Bacias Hidrográficas	Hierarquia Strahler	Magnitude Schreve nº	Comprimento do Curso de Água Principal L (km)	Comprimento total dos cursos de água Ct (km)	Densidade de drenagem Dd (km/km <sup>2</sup> )	Densidade Hídrica (Horton) Dh (nº cursos de água/km <sup>2</sup> )	Coefficiente de Manutenção (Schumm) Cm (metros)	Coefficiente de Torrencialidade (Vivas) Ct
<b>Vez</b>	6	1329	41,4	974,9	3,71	4,40	269,52	16,34
<b>Este</b>	6	1188	55,5	861,6	3,53	4,28	283,04	15,13
<b>Corgo</b>	7	2478	54,5	1755,7	3,75	8,67	266,87	32,47
<b>Távora</b>	8	3563	72,5	2241,9	4,21	8,40	237,79	35,32

No entanto, deve-se ter em consideração que as densidades hídricas e de drenagem não são uniformes ao longo de toda a bacia, uma vez que normalmente, o grau de permeabilidade não é constante. Por isso, existem sectores das bacias mais bem drenados do que outros, como acontece, por exemplo com a bacia do Távora (Figura 3.2). O coeficiente de manutenção (Schumm) indica-nos que quanto menor for o seu valor mais rapidamente a água se concentra

nos canais fluviais, amplificando a suscetibilidade às cheias (Ramos, 2009). Nas bacias em estudo o coeficiente de manutenção é mais baixo na bacia do Távora, apesar de em todas as bacias o valor ser superior a 238 metros. Quanto ao coeficiente de torrencialidade, o seu valor mais elevado regista-se na bacia do Távora (35,32), o que indica uma maior torrencialidade, do que nas restantes bacias em estudo.

### 3.2.1.3. Relevo

O relevo é outro fator importante a considerar na bacia. Segundo Ramos (2009) os seus elementos mais relevantes são: a posição relativa das serras/montanhas, a exposição aos fluxos pluviogénicos, a altitude, o desnível e o declive. Quando existe uma maior densidade de serras, o efeito orográfico nas precipitações é mais acentuado. Os impulsos sucessivos das massas de ar criam instabilidade, levando a que as vertentes expostas aos fluxos pluviogénicos sejam as mais chuvosas, como é o caso em Portugal Continental, das vertentes expostas a NW, W e SW (Ramos, 2009).

O declive afeta a velocidade de escoamento, a quantidade de infiltração, bem como a intensidade de erosão hídrica (Figura 3.3).

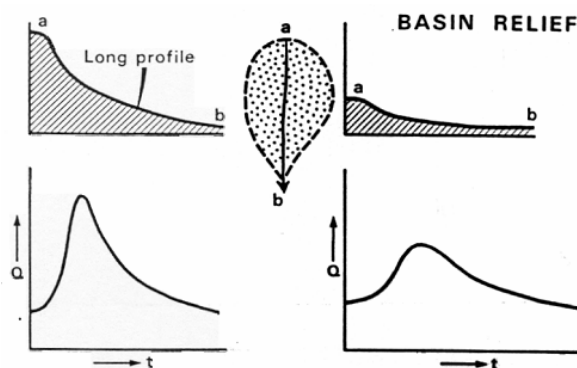


Figura 3.3. Influência do relevo da bacia no hidrograma de cheia. ab: perfil longitudinal do curso de água; Q: caudal; t: tempo.

Fonte: Gregory & Walling, 1973.

Isto significa que quanto maior for o declive, menor será a infiltração; maior será a velocidade do escoamento; maior será a erosão hídrica e fluvial e maior será o transporte de sedimentos (Leal, 2011; Lima & Lima, 2010; NOAA, 2010; Ramos, 2009). O declive interfere também na intensidade da carga sólida transportada durante as cheias. As bacias mais declivosas promovem o aumento da velocidade de progressão da onda de cheia e da sua capacidade de

transporte da carga sólida e por isso, em geral desenvolvem processos com mais energia em situações de cheia (Ramos, 2009).

Foram elaborados Modelos Digitais de Terreno (MDT) para cada uma das bacias em *ArcGis*, com resolução espacial de 10 metros. A partir destes foram concebidos os mapas de declives, em graus, e com 6 classes de dados.

- *Curva Hipsométrica*

A curva hipsométrica é a representação gráfica do relevo de uma bacia, exibindo a área (A) da bacia que fica acima da cada cota (Z) em referência ao nível médio do mar. Através da sua elaboração é possível calcular outros indicadores, que permitem quantificar o relevo de uma bacia hidrográfica.

- *Altitude média da bacia ( $\bar{Z}$ )*

$$\bar{Z} = \frac{\sum z_i A_i}{A}$$

*Equação 3.9*

Em que:

$z_i$  é a altitude média de cada classe altitudinal (em metros);  $A_i$  é a área dessa classe altitudinal ( $\text{km}^2$ ) e  $A$  é a área da bacia ( $\text{km}^2$ ).

- *Altura média da bacia ( $\bar{H}$ )*

$$\bar{H} = \frac{\sum h_i A_i}{A}$$

*Equação 3.10*

Em que:

$H_i$  é a altura média de cada classe altitudinal considerada (metros);  $A_i$  é a área dessa classe altitudinal ( $\text{km}^2$ ) e  $A$  é a área da bacia ( $\text{km}^2$ ). A altura média da bacia define-se de forma semelhante à altitude média da bacia. A diferença é que se refere a cotas acima da secção de estudo (cota mínima de altitude da bacia) (Lencastre & Franco, 2003).

- *Amplitude altimétrica (D)*

$$D = Am - am$$

*Equação 3.11*

Em que:

Am é a altitude máxima da bacia, em metros e am é a altitude mínima da bacia em metros.

- *Coefficiente de massividade (Cm)*

$$Cm = \frac{H}{A}$$

*Equação 3.12*

Em que:

H é a altura média da bacia em metros e A é a área da bacia em km<sup>2</sup>.

Segundo Lencastre e Franco (2003, p. 38), “ (...) este coeficiente atinge valores elevados em bacias pequenas que apresentam grandes desníveis e valores pequenos em grandes bacias de relevo pouco acentuado. No entanto, os respetivos valores podem ser os mesmos para bacias muito diferentes, nos casos em que a altura média e a superfície da bacia variem em proporção”. Para distinguir estas situações foi estabelecido o coeficiente orográfico.

- *Coefficiente Orográfico (Co)*

$$Co = H \times Cm$$

*Equação 3.13*

Em que:

H é a altura média da bacia (em metros) e Cm é o coeficiente de massividade.

Este parâmetro combina a altura média da bacia, que influencia a energia potencial da água e o seu declive, que intervém no escoamento superficial. Valores iguais ou inferiores a 6 apontam para um relevo pouco acentuado, enquanto, valores superiores a 6 sugerem um relevo acentuado (Lencastre & Franco, 2003).

- *Índice de Rugosidade (Ir) (Melton, 1957)*

$$Ir = D \times Dd$$

*Equação 3.14*

Em que:

D é a amplitude altimétrica (metros) e Dd é a densidade de drenagem (km/km<sup>2</sup>).

Este parâmetro será tanto maior quanto mais acidentada for a bacia e mais afetada estiver pela erosão fluvial. As bacias hidrográficas mais sujeitas a cheias rápidas apresentam elevados índices de rugosidade (Ramos, 2009).

- *Relação de Relevo (Rr)* (Schumm, 1956)

$$Rr = D/Cb$$

*Equação 3.15*

Em que:

D é a amplitude altimétrica (metros) e Cb é o comprimento da bacia (metros).

Quanto maior for este parâmetro de uma bacia, mais rápida é a chegada das águas à sua desembocadura (Ramos, 2009).

- *Índice de Declive de Roche (m/km) (IdR)*

$$IdR = \frac{Am - am}{Le}$$

*Equação 3.16*

Em que:

Am é a altitude máxima da bacia (metros); am é a altitude mínima da bacia (metros); Le é o comprimento do retângulo equivalente da bacia em Km. O retângulo equivalente da bacia obtém-se da seguinte forma:

$$Le = 0,89 Kc \sqrt{A} \left( 1 + \left( \sqrt{1 - \left( \frac{1,12}{Kc} \right)^2} \right) \right)$$

*Equação 3.17*

Em que:

A é a área da bacia (km<sup>2</sup>) e Kc é o índice de Gravelius.

Este índice corresponde ao declive médio para toda a bacia, entre a cota mais elevada e a mais baixa (Lencastre & Franco, 2003).

- Declive do canal fluvial principal (m/km)

$$Dc = Dh/Cb$$

Equação 3.18

Em que:

Dh é o desnível entre os seus pontos extremos (m) e Cb é o comprimento do canal fluvial principal (km).

Quanto maior for este parâmetro, maior será o declive do curso de água (Ramos, 2009).

O declive dos cursos de água é responsável em grande parte, pela velocidade de escoamento à superfície, o que por sua vez, afeta a dimensão das pontas de cheia, e indiretamente a infiltração e a suscetibilidade à erosão dos solos (Ramos, 2009).

- Perfil longitudinal dos cursos de água

O perfil longitudinal de um curso de água relaciona as cotas do respetivo leito com as distâncias à foz, permitindo detetar áreas com diferentes características morfológicas ou eventuais ruturas de declive (Lencastre & Franco, 2003; Ramos, 2009).

A bacia hidrográfica do rio Vez apresenta altitudes entre os 8 metros na desembocadura do rio e os 1410 metros na serra da Peneda. Na bacia do rio Este não se verificam altitudes tão elevadas, sendo o seu valor mais elevado 570 metros. Na bacia do rio Corgo a altitude mais elevada localiza-se na serra do Alvão (1416 metros). A altitude mais elevada na bacia do rio Távora é de 1000 metros e localiza-se no concelho de Penedono (Figura 3.4).

Os declives apresentam valores muito contrastados nas bacias dos rios Vez, Corgo e Távora (Figura 3.5). Os declives médios nas bacias dos rios Vez e Corgo são de 16° e 14°, respetivamente. Nas bacias dos rios Este e Távora, os declives médios são significativamente mais baixos (6° e 9° respetivamente). Na área da bacia do rio Vez encontramos os declives mais acentuados nas margens do rio Cabreiro, ultrapassando 70°, sendo de realçar que os sectores com declives mais pronunciados encontram-se no Parque Nacional da Peneda-Gerês, contrastando com áreas de inclinação inferior a 5°, no sector terminal do rio Vez. Na bacia do

rio Corgo, os declives mais elevados encontram-se na serra do Marão, ultrapassando também os 70° (Figura 3.5).

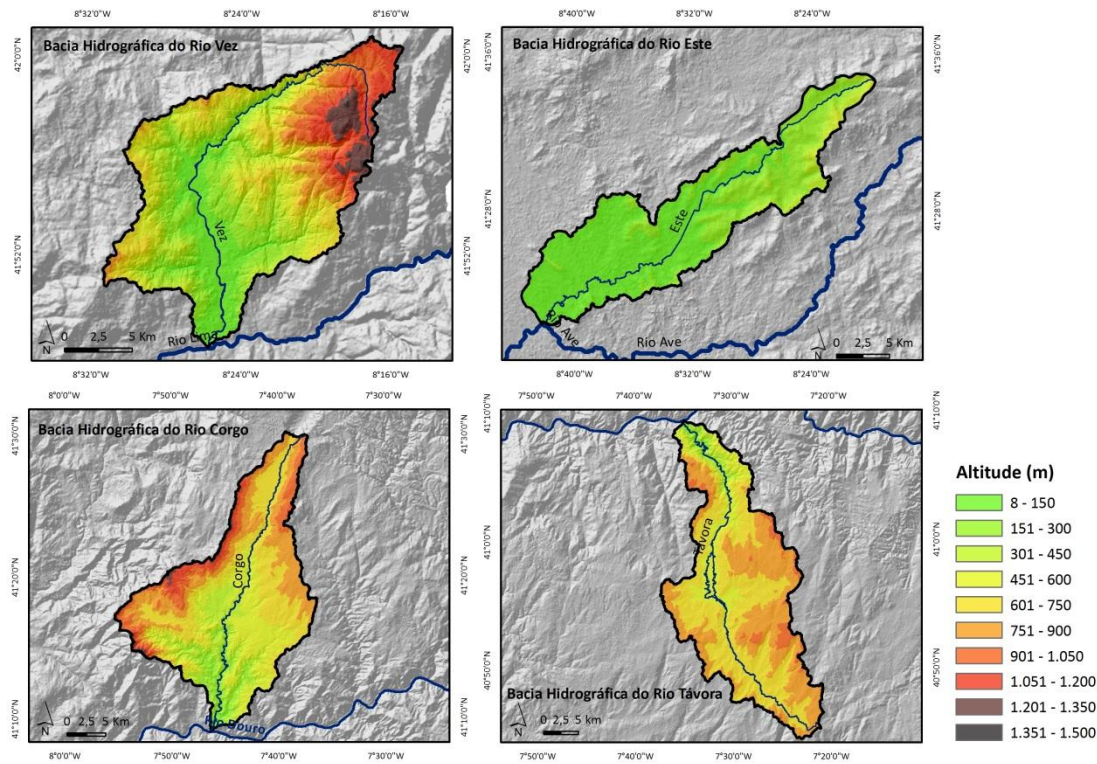


Figura 3.4. Altitude nas bacias hidrográficas em estudo.

As alturas médias das bacias são superiores a 500 metros nas bacias do Vez (518,9m), Corgo (606,2m) e Távora (626,5 m). A bacia do rio Este apresenta a altitude média mais baixa: 146,3 metros. Pela análise dos declives e do coeficiente orográfico, podemos verificar que é na bacia do Vez que o relevo é mais acentuado (Quadro 3.4 e Figura 3.5). As áreas afetadas pelas cheias têm índices de rugosidade elevados, sendo que estes serão tanto maiores quanto mais acidentado for o relevo (Ramos, 2009).

Quadro 3.4. Parâmetros referentes ao relevo nas bacias em estudo.

Bacias Hidrográficas	Altitude mínima da bacia	Altitude máxima da bacia	Altitude média	Altura média	Amplitude Altimétrica	Coeficiente de massividade	Coeficiente orográfico	Índice de Rugosidade	Relação de Relevo	Índice de Declive de Roche	Declive do canal fluvial principal
	am (m)	Am (m)	Z (m)	H (m)	D (m)	Cm	Co	Ir	Rr	IdR (m/km)	Dc (m/km)
Vez	8	1410	526,9	518,9	1402	1,97	1024,8	5201,8	0,03	54,1	33,9
Este	6	570	152,3	146,3	564	0,60	87,8	1992,7	0,01	17,1	10,2
Corgo	49	1416	655,2	606,2	1367	1,29	784,2	5122,4	0,03	35,7	25,1
Távora	80	1000	706,5	626,5	920	1,18	736,3	3868,9	0,01	19,4	12,7



Assim os valores mais elevados verificam-se nas bacias do rio Vez (5201,8) e rio Corgo (5122,4). Os resultados do índice de declive de Roche confirmam estes resultados, ou seja, as bacias do Vez e do Corgo são as que apresentam os declives mais acentuados, o que tem influência na velocidade de escoamento.

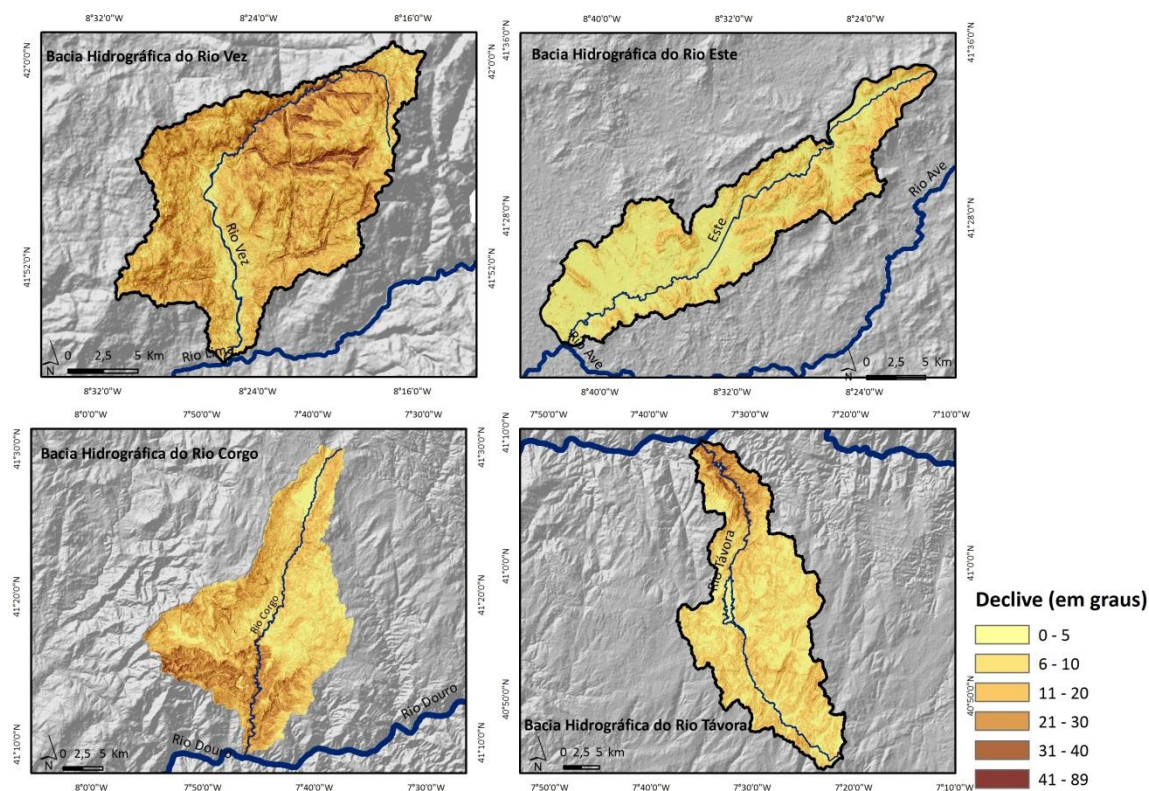


Figura 3.5. Declive nas bacias hidrográficas em estudo.

O declive do canal principal é também mais acentuado nas bacias do Vez (33,9m/km) e Corgo (25,1 m/km), o que significa que nestas bacias a velocidade de escoamento à superfície será maior, e consequentemente o tempo que a água demora a concentrar-se nos canais fluviais será menor, afetando a extensão das pontas de cheia (Quadro 3.4). Os perfis longitudinais dos rios principais das bacias em estudo mostram os trajetos dos rios desde a cabeceira até à sua desembocadura. Pela sua análise, verificamos que o rio Vez nasce a altitudes elevadas, no entanto a partir de metade do seu percurso já se encontra em cotas abaixo dos 200 metros. O rio Este apresenta um trajeto mais aplanado em grande parte do seu percurso. O rio Corgo nasce a 1200 metros de altitude, mas em menos de 2 km sofre um desnível de 400 metros. Trinta quilómetros do seu restante percurso (57%) são caracterizados sobretudo, por altitudes entre os 750 e os 400 metros. No perfil longitudinal do rio Távora é visível que cerca de 60% do seu trajeto ocorre em altitudes superiores a 600 metros (Figura 3.6).

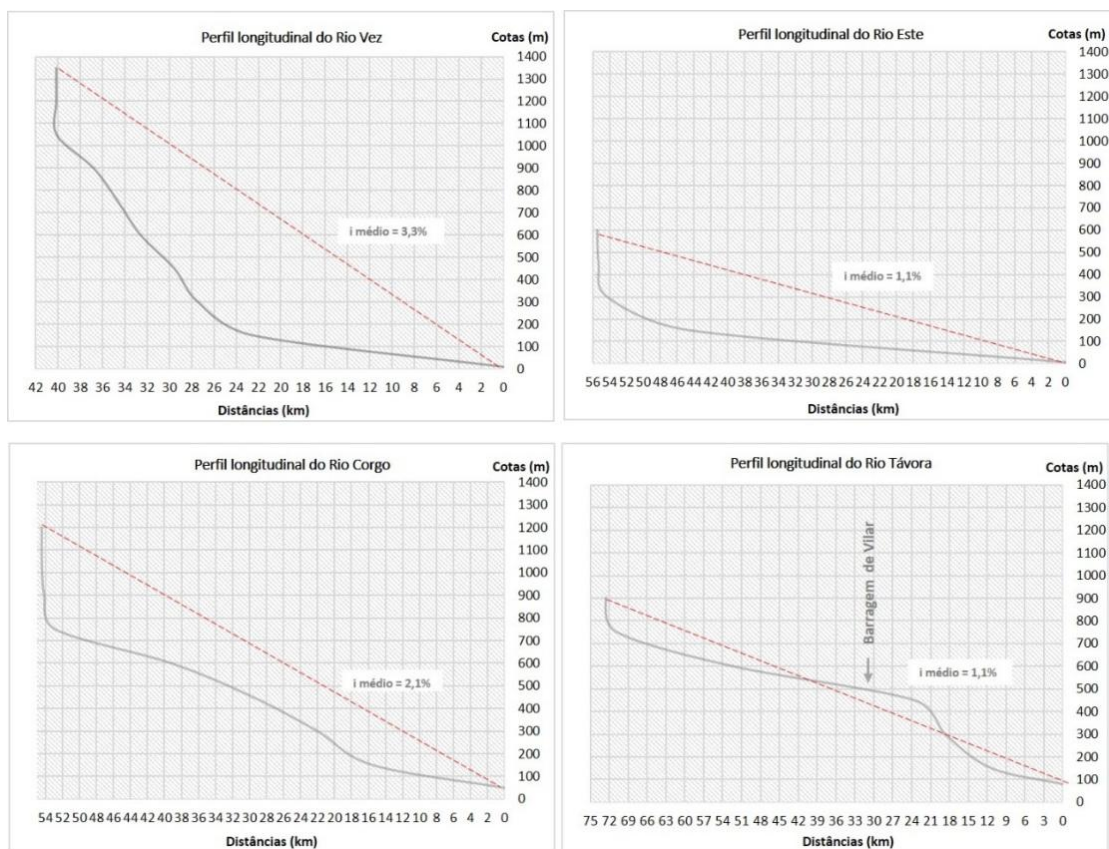


Figura 3.6. Perfis longitudinais do rio principal de cada bacia hidrográfica em estudo.

A curva hipsométrica da bacia do rio Vez mostra-nos que cerca de 60% da área drenante da bacia se encontra até aos 600 metros de altitude. Por outro lado, 18% da área da bacia encontra-se em altitudes superiores a 900 metros. Estes valores confirmam os resultados do coeficiente orográfico e índice de rugosidade, refletindo uma maior suscetibilidade a cheias. Na bacia hidrográfica do rio Este, 59% da sua área encontra-se em cotas compreendidas entre os 6 e os 150 metros, o que mostra que esta bacia apresenta um relevo pouco acentuado. O mesmo não se constata na bacia hidrográfica do rio Corgo. Nesta bacia 65% da área drenante encontra-se nos sectores intermédios, ou seja, entre as cotas 450 e 900 metros de altitude. Na bacia do rio Távora, 82% da área drenante encontra-se nos sectores de maior altitude, nas cotas compreendidas entre os 600 e os 1050 metros (Figura 3.7).

Desta forma, o rio Vez tem declives elevados distribuídos pela bacia, o que, portanto potencia o escoamento em detrimento da infiltração ao longo de toda a bacia. Apesar de ter muitas

áreas nas altitudes mais elevadas, o Távora tem declives baixos nas partes mais elevadas da bacia, o que potencia uma maior infiltração do que no caso do Corgo.

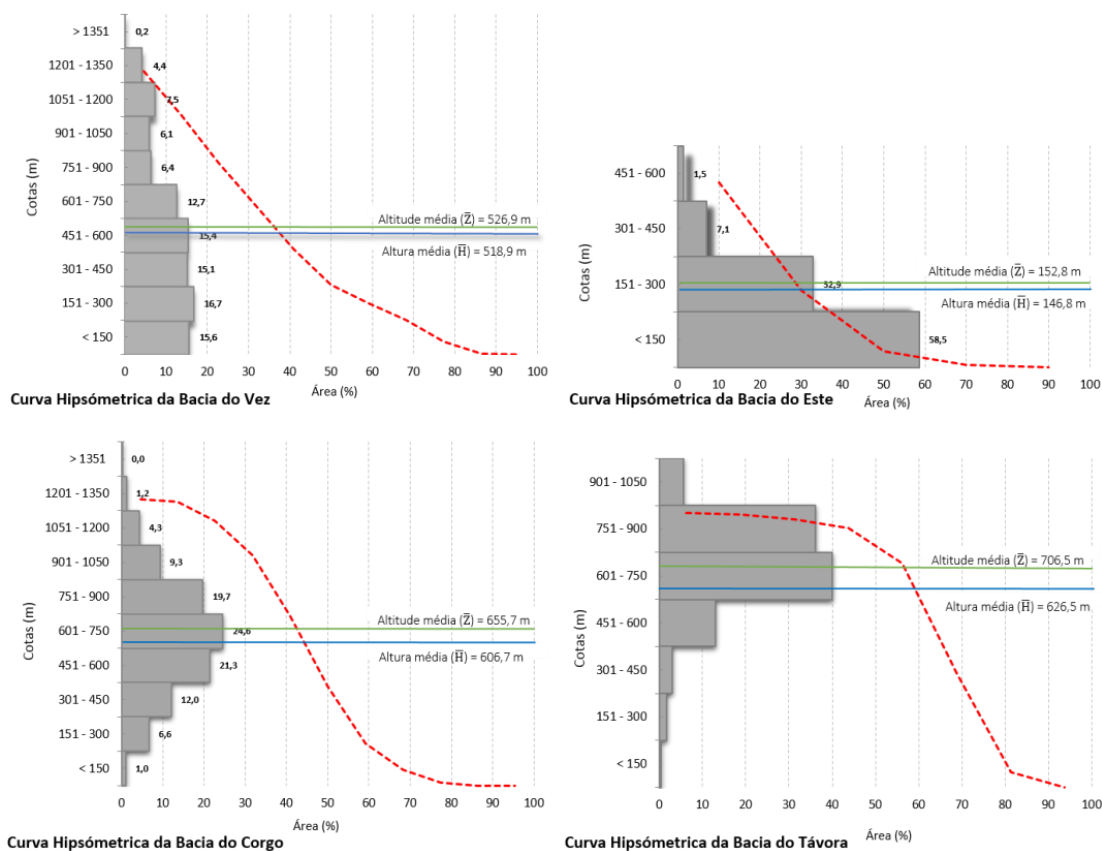


Figura 3.7. Curvas hipsométricas nas bacias hidrográficas em estudo.

Deste modo, podemos assim hierarquizar, por ordem crescente, as bacias quanto ao relevo: Este, Távora, Corgo e Vez. A suscetibilidade destas bacias às cheias será maior, uma vez que o relevo acentuado propicia a velocidade do escoamento, uma menor infiltração e uma maior capacidade de erosão hídrica e fluvial.

#### 3.2.1.4. Geologia e Solos

O substrato geológico de uma bacia hidrográfica está intrinsecamente relacionado com a distribuição e o movimento de água na bacia (Lencastre & Franco, 2003). Segundo Ramos (2009, p. 41) “os solos e o substrato geológico condicionam o escoamento superficial, as pontas de cheia e os fenómenos de erosão nas bacias hidrográficas, logo, da carga sólida que os cursos de água podem transportar durante as cheias”.

Em bacias muito permeáveis, grande parte da precipitação é absorvida, dominando o escoamento subsuperficial ou subterrâneo (Smith & Ward, 1998). Pelo contrário em bacias pouco permeáveis, o escoamento superficial é maior, potencializando os caudais de ponta de cheia. A Figura 3.8 (Ramos, 2009) ilustra que a permeabilidade do solo e subsolo está relacionada com caudais de ponta de cheia, uma vez que numa bacia impermeável o caudal de ponta de cheia é mais elevado e ocorre mais cedo.

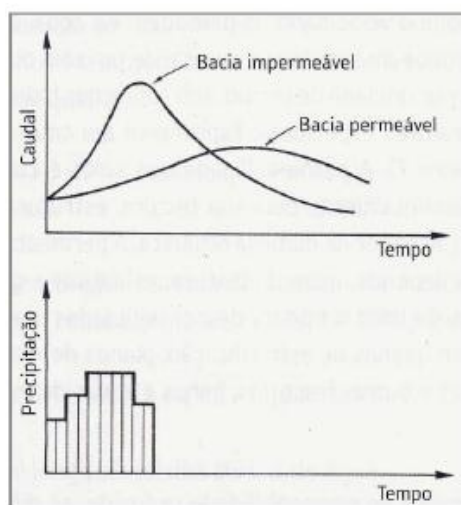


Figura 3.8. Relação entre a permeabilidade do solo e subsolo e os caudais de ponta de cheia.

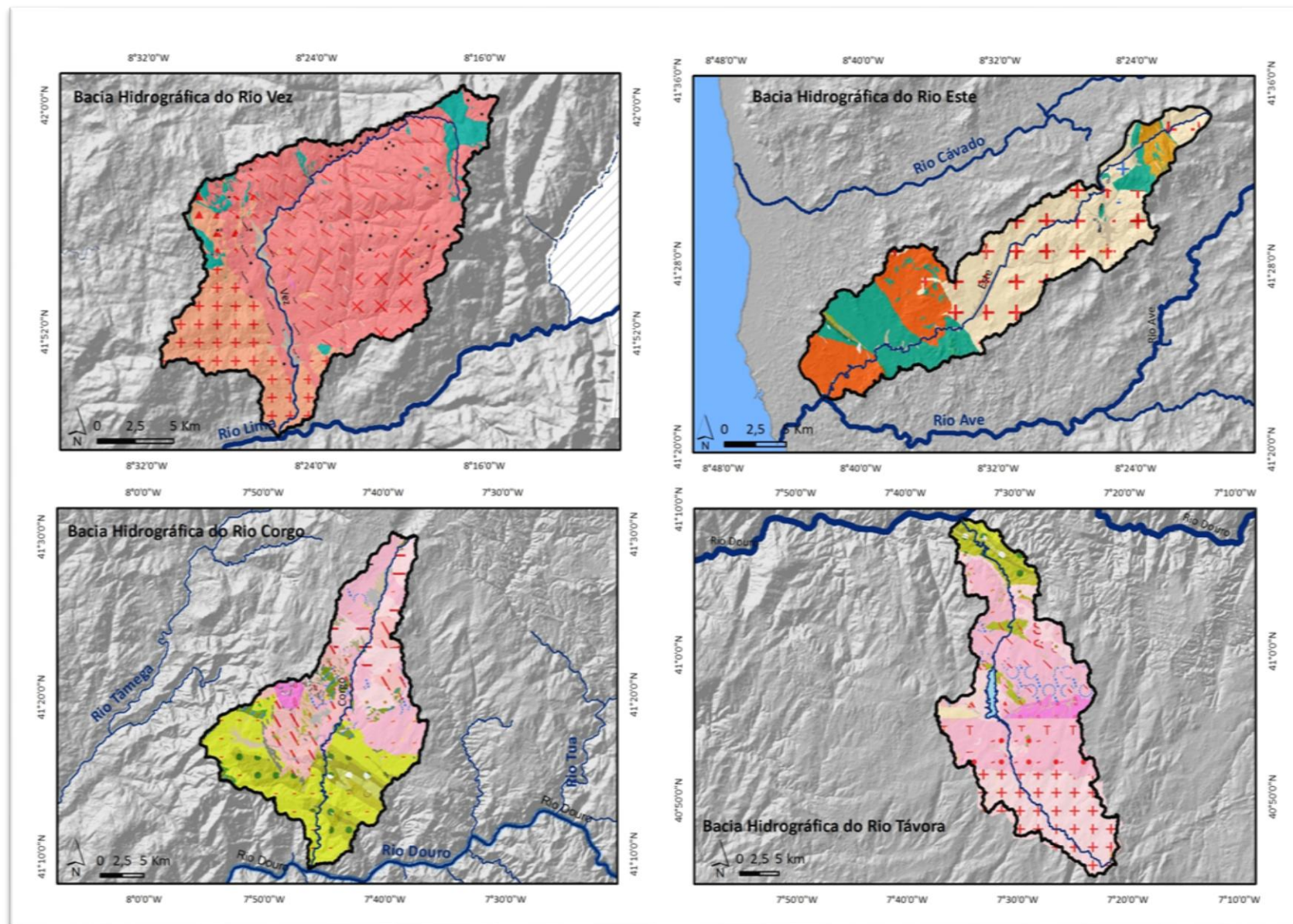
Fonte: Ramos (2009).

A região Norte localiza-se no Maciço Antigo, que corresponde a “uma unidade morfoestrutural da Península Ibérica originada pelo arrasamento da Cordilheira hercínica no final do paleozóico” (Ferreira & Ferreira, 2004, p. 9).

A bacia do rio Vez é dominada (90,3% do total da área) pelos granitos hercínicos de duas micas, dos quais 70% correspondem a granitos sintectónicos instalados na terceira fase da deformação hercínica (Figura 3.9). Na parte superior da bacia, localiza-se uma faixa de rochas sedimentares do período do Silúrico (Moreira & Simões, 1988). Também se encontram em grande número filões e massas aplito-pegmatíticas, de quartzo e de rochas básicas (Moreira & Simões, 1988). Na bacia do rio Este, 71% do total da área também correspondem a granitos hercínicos, sendo que 40 % correspondem a granitos porfíroides, de grão grosseiro, essencialmente biotítico. Na parte final da bacia, localizam-se faixas de formações metassedimentares. As formações da idade do silúrico correspondem a 20% do total da área (Figura 3.9). Na bacia hidrográfica do rio Corgo podemos distinguir duas áreas com características geológicas diferentes. Uma localiza-se na parte norte da bacia e corresponde a

granitos hercínicos, ocupando 50% da área da bacia. Nesta área, predominam os granitos de grão médio a grosseiro, com esparsos megacristais, de duas micas (16%) e granitos de grão grosseiro a médio, porfiroide, de duas micas (14%). A outra área localiza-se na parte inferior da bacia, no vale do rio Douro e corresponde a formações metassedimentares (41%), com destaque para a formação da Desejosa - alternância de filitos com laminação fina, paralela e metagrauvaques e metaquartzovaques, às vezes, carbonatados que ocupa 26% da área da bacia (Figura 3.9). Na bacia do rio Távora predominam os granitos de grão médio de duas micas (30% do total da área) e os monzogranitos porfíroides de grão médio, essencialmente biotíticos (24%). Na parte terminal da bacia, no vale do rio Douro destacam-se as rochas metassedimentares, dos períodos Proterozóico e Câmbrio (10% do total da área da bacia) (Figura 3.9). Se compararmos os declives médios por tipo litologia nas diferentes bacias, podemos verificar que na bacia do Vez que os granitos predominam nos declives mais elevados. Os granitos dão alterações muito porosas que permitem grande infiltração mesmo para declives elevados. Na bacia do Este, os declives médios são bem mais suaves, sendo também que nos mais elevados predominam os granitos. Na bacia do Corgo os declives médios mais elevados situam-se no sector terminal da bacia, onde predominam os metassedimentos, que apresentam capacidades de infiltração fracas e por isso crescem importância aos processos de escoamento superficial. O mesmo acontece na bacia do Távora, onde os declives médios mais elevados também se encontram no sector terminal do rio Távora e confluência com o rio Douro, prevalecendo os metassedimentos.





FORMAÇÕES SEDIMENTARES	QUATERNÁRIO	a	Aluviões
		Q	Depósitos de vertente
		Ql	Restos de depósitos indiferenciados associados ou não a depósitos de solifluxão periglaciár
		PQ	Depósitos fluviais e lacustres cobertos ou não por depósitos de solifluxão periglaciár

FORMAÇÕES METASSEDIMENTARES	Carbónico	Devónico	Bo	Unidade de Bougado: argilitos cinzentos, siltitos, arenitos, arcoses e conglomerado grosseiro
			DAS	Formação Santos e Curros: sequência negativa de turbiditos com intercalações de tufitos no topo
			Te1	Membro Inferior da Formação Telheiras: xistos argilo-micáceos e arenitos micáceos
			Te2	Membro Superior da Formação Telheiras: xistos argilosos (amarelo-avermelhados ou cinzento-azulados)
	Silúrico		So	Formação Sobrado: alternância de psamitos e pelitos, às vezes, negros
			UMC	Unidade do Minho Central e Ocidental: pelitos, psamitos, skarnitos, vulcanitos, xistos negros e psamitos
			UMC	Unidade do Minho Central e Ocidental: xistos negros com intercalações de ampelitos
			UMC	Unidade do Minho Central e Ocidental: quartzitos cinzentos
			Sps	Formação dos Xistos Superiores: xistos cinzentos silíceo e carbonosos e siltitos
			Sps	Formação dos Xistos Superiores: intercalações de ampelitos
			Sps	Formação dos Xistos Superiores: intercalações de lúditos e tufitos
			OQV	Formação Quinta da Ventosa: quartzofilitos e quartzitos com níveis conglomeráticos dispersos, geralmente, com clastos de quartzo mal rolado
	Ordovício		Sj	Formação Sta Justa: quartzitos com intercalações de xistos negros e filitos; quartzitos com intercalações conglomeráticas
			OQA	Formação Quartzito-Armoricano: quartzitos superiores: metagrês e quartzitos
			OQA	Formação Quartzito-Armoricano: quartzitos superiores com bancadas de ferro, xistos intermédios e quartzitos inferiores
			OQA	Formação Quartzito-Armoricano: psamitos superiores: alternância centimétrica de metapsamitos e quartzitos
			OPa	Formação Pardelhas: xistos ardósiferos, xistos carbonosos com intercalações de metassiltitos na base
			Va	Formação Valongo: xistos ardósiferos com intercalações de metassiltitos
			Ox	Formação Xistenta: xistos ardósiferos e xistos carbonosos com intercalações de metassiltitos na base
	Cámbrico		De	Formação Desejosa: alternância de filitos com laminação fina, paralela e metagrauvaques e metaquartzovaques, às vezes, carbonatados
			Pi	Formação Pinhão: filitos cloríticos, quartzo cloríticos e metaquartzovaques com magnetite
			Dm	Formação S. Domingos: conglomerado poligénico com matriz quartzo-pelítica
			Ex	Formação Excomungada: filitos e quartzofilitos cloríticos
	Proterozóico		Ba	Formação Bateiras: alternância de filitos laminados com metagrauvaques e intercalações de metacálcaris, filitos negros e metaquartzovaques
			Er	Formação Ervedosa do Douro: filitos cloríticos, quartzo-cloríticos e metaquartzovaques com magnetite
			RP	Formação Rio Pinhão: metagrauvaques com intercalações de filitos e microconglomerados

GRANITÓIDES BIOTÍTICOS COM PLAGIOCLASE CÁLCICA E SEUS DIFERENCIAIS	Tardi a pós-orogénicos	Tardos relativamente a intrusão tardi-hercínica	yllid	Granito leucocrata de grão médio a fino, às vezes granatífero
			yllib	Granito porfíroide de grão grosseiro a médio, essencialmente biotítico
			ylla	Granitos e granodioritos de grão fino a médio, às vezes porfíroide, biotítico
			yll3d	Granitos de grão fino a médio, duas micas, essencialmente biotíticos
	Sin-Orogénicos	Tardi a pós F3 (serie tardia) (intermédia)	yll3c	Monzogranitos de grão médio a fino, com esparsos megacristais, essencialmente biotíticos
			yll3b	Monzogranitos porfíroides de grão médio, essencialmente biotíticos
			yll3a	Granodioritos e quartzodioritos biotíticos, com rochas básicas associadas
			yll2b	Granito porfíroide, de grão grosseiro, essencialmente biotítico
		Ante a sin F3 (serie precoce) (intermédia)	yll2a	Granodioritos e quartzodioritos biotíticos, porfíroides ou com esparsos megacristais
			yll1c	Granitos e granodioritos porfíroides, de grão médio, a grosseiro, essencialmente biotíticos
			yll1c	Granitos e granodioritos de grão médio, porfíroides, com duas micas
			yll1c	Granitos e granodioritos de grão médio, porfíroides, com duas micas
GRANITÓIDES HERCÍNICOS DE DUAS MICAS	Sin a tardi F3		yl4	Granito moscovítico por vezes com turmalina
			yl4	Granito biotítico-moscovítico de grão fino a médio
			yl4	Granito de grão médio a grosseiro, porfíroide, de duas micas
			yl4	Granito de grão médio a grosseiro, com esparsos megacristais, de duas micas
	Sin F3		yl3	Granito inhomogéneo de grão médio a fino
			yl3z	Migmatitos, gnaisses e granitos nodulares
			yl3	Granito de grão médio ou grosseiro, de duas micas
			yl3	Granito de grão grosseiro, de duas micas
			yl3	Granodiorito biotítico
			yl3	Granito de grão médio, porfíroide, de duas micas essencialmente biotítico
			yl3	Granito de grão médio, de duas micas
			yl3	Granito de grão fino a médio, de duas micas, localmente com biotite ou moscovite
	Sin F2		yl3	Granito de grão grosseiro a médio, porfíroide, de duas micas
			y22	Granito de grão médio com esparsos megacristais
Fíloes e Massas			q	Quartzo
			δ	Rochas básicas
			δ	Rochas básicas indiferenciadas
			μ	Pórfiro granitóide
			Ya	Aplito
			Yp	Pegmatito
			Yap	Aplito-pegmatito

Figura 3.9. Geologia com base na carta geológica de Portugal, à escala 1:200000.

### 3.3. Fatores Variáveis

#### 3.3.1. Uso e Ocupação do Solo

O uso do solo é importante para o estudo das cheias, uma vez que influencia o escoamento superficial e a infiltração (Lencastre & Franco, 2003). As áreas urbanizadas reduzem os valores de infiltração e impulsionam o escoamento direto (Ramos, 2009), enquanto as florestas, ao eliminarem o choque direto das gotas de chuva com o solo favorecem a infiltração e reduzem o escoamento superficial (Lencastre & Franco, 2003).

Para a análise do uso e ocupação do solo, foram utilizadas as cartas *Corine Land Cover* de 1990 e 2006, de modo a compreender a evolução do uso do solo nas bacias hidrográficas em estudo. As nomenclaturas do uso do solo foram agrupadas em três classes em função da sua natureza: áreas edificadas, áreas agrícolas e áreas florestais e silvestres (Leal, 2011; Leal & Ramos, 2013).

Foram calculadas para todas as bacias, as percentagens das áreas edificadas, agrícolas e florestais bem como as variações percentuais referentes à evolução verificada nessas três classes entre 1990 e 2006.

Quadro 3.5. Classificação da nomenclatura do uso do solo.

Áreas edificadas	Áreas agrícolas	Áreas florestais e silvestres
Tecido urbano contínuo	Terras aráveis não irrigadas	Florestas de folhosas
Tecido urbano descontínuo	Terras permanentemente irrigadas	Florestas de coníferas
Unidades industriais ou comerciais	Vinhas	Florestas mistas de folhosas e coníferas
Rede rodoviária ou ferroviária e zonas associadas	Pomares de árvores de fruto ou de baga	Prados naturais
Aeroportos	Olivais	Charnecas ou matos
Zonas de extracção mineira	Pastagens	Florestas ou vegetação arbustiva de transição
Zonas de construção	Culturas anuais associadas a culturas permanentes	Rocha nua
Equipamentos de desporto ou lazer	Sistemas culturais e parcelares complexos	Zonas de vegetação esparsa
	Zonas principalmente agrícolas com zonas naturais importantes	Zonas ardidas

As alterações do uso do solo (urbanização, desflorestação e cultivo) podem contribuir para o aumento da magnitude e frequência das cheias (Tollan, 2002; Whitfield, 2012). O incremento das áreas impermeabilizadas promove um maior escoamento superficial e a redução da



infiltração, contribuindo para o aumento da suscetibilidade às cheias (Lencastre & Franco, 2003; Parker, 2000). Admite-se que os valores de escoamento possam ser cinco vezes superiores aos que ocorrem em condições naturais (Arnold & Gibbons, 1996). Outra das consequências da urbanização é o aumento da velocidade de escoamento, devido à menor resistência das superfícies ao deslocamento da água e à existência dos sistemas de drenagem de águas pluviais (Lencastre & Franco, 2003; Ramos, 2009). A artificialização dos cursos de água também pode ter consequências na frequência e magnitude das cheias, por exemplo, através da redução dos leitos ou construção de muros de proteção.

A existência de florestas contribui para a redução da erosão hídrica e da ocorrência de grandes cheias, uma vez que elimina o choque direto da precipitação com o solo, favorecendo a infiltração e reduzindo o escoamento superficial (Lencastre & Franco, 2003). De modo oposto, a desflorestação pode contribuir para o incremento das cheias, através do aumento da velocidade de escoamento superficial, e do aumento da capacidade erosiva e de transporte da carga sólida nos cursos de água da bacia (Parker, 2000; Ramos, 2009; Smith & Ward, 1998).

Apesar de a BDC-N iniciar em 1865, apenas estão disponíveis as cartas a partir de 1990. Segundo Daveau (2000) a primeira síntese cartográfica de ocupação do solo em Portugal ocorreu em 1867, onde é visível o domínio dos incultos. Nas décadas seguintes o crescimento demográfico e as leis cerealíferas levaram ao aumento do espaço abrangido quer pelas atividades agrícolas, quer pela floresta (Nunes, 2004). Os incultos foram assim reduzidos a menos de um quinto do total, nos anos 50 do século XX (Daveau, 2000). A segunda metade do século XX caracteriza-se pelo êxodo das áreas rurais, que terá contribuído para a ocorrência de grandes incêndios florestais, além do abandono das superfícies agrícolas (Nunes, 2004). Nas décadas mais recentes é possível observar o retrocesso das áreas agrícolas face ao aumento das áreas florestais (Daveau, 2000). Nunes (2004) faz distinção entre a evolução do uso do solo por distrito, podendo concluir que:

- No início do século XX, predominavam os incultos em todos os distritos de Portugal Continental, atingindo os valores mais elevados nos distritos da região Norte de Viana do Castelo (onde se insere a bacia do Vez), Vila Real (onde se insere a bacia do Corgo) e Bragança.
- De um modo geral, nos últimos anos do século XX, a área agrícola situa-se muito próxima à que se verificava no início do século e a área florestal aumentou em todos os distritos do continente.

Através dos recenseamentos estatísticos é possível analisar as diferenças populacionais nas áreas em estudo, por concelhos. Segundo Rodrigues (2009), o clima e as condições económicas

originadas pela proximidade do mar ou dos rios navegáveis foram decisivos para a fixação da população. Em Portugal Continental dominam duas formas de povoamento: disperso e concentrado. O povoamento disperso caracteriza toda a faixa litoral, entre os rios Minho e Tejo, a Orla Algarvia e os vales dos principais rios (Rodrigues, 2009), sendo as densidades populacionais, mais elevadas. O povoamento concentrado prevalece em Trás-os-Montes ao Alentejo (Ribeiro, 1998; Rodrigues, 2009), onde as densidades são mais baixas.

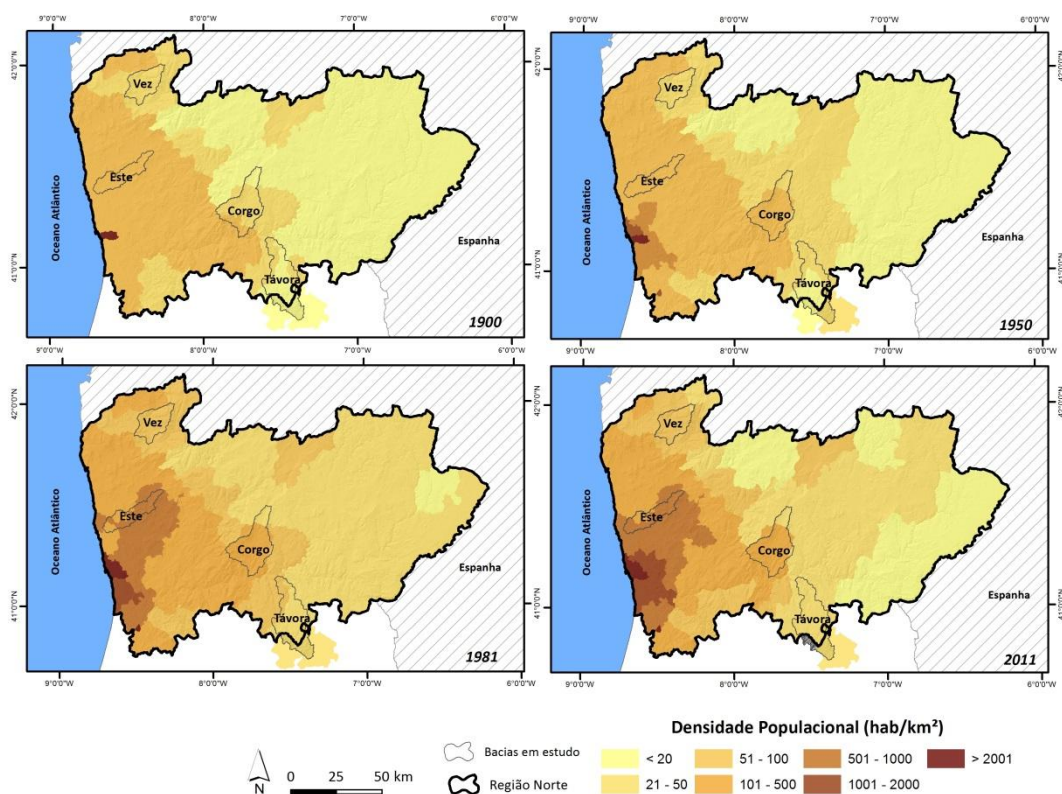


Figura 3.10. Densidade populacional (hab/km<sup>2</sup>) em 1900, 1950, 1981 e 2011.

Ao longo dos anos a concentração populacional no concelho do Porto e concelhos vizinhos foi aumentando. Nas bacias do Vez e Corgo constata-se um ligeiro aumento da densidade populacional de 1900 para 1950, mantendo-se inalterável até 2011. Os concelhos, onde se localiza a bacia do Távora são os que apresentam os valores mais baixos de densidade populacional das quatro bacias em estudo, verificando-se uma ligeira diminuição desde 1900. Pelo contrário, nos concelhos onde se localiza a bacia do Este verifica-se um aumento da densidade populacional (Figura 3.10). Na Figura 3.13 é possível observar o uso e ocupação do solo nas bacias em estudo no ano de 2006. As bacias do Vez, Corgo e Távora são predominantemente florestais e a bacia do Este é predominantemente agrícola (Figura 3.13). Na

bacia hidrográfica do Vez, o tecido urbano é descontínuo e representava apenas 1,4% de toda a área da bacia, em 2006. As áreas florestais predominam em toda a sua área (74%), nomeadamente zonas de vegetação esparsa e charnecas ou matos. De 1990 para 2006 verificou-se uma reduzida diminuição das áreas agrícolas e florestais e um exíguo aumento das áreas urbanizadas (1,1%) (Figura 3.11 e Figura 3.12). Na bacia hidrográfica do Este as áreas urbanas ocupam 13,6% da área da bacia, nomeadamente a cidade de Braga. No entanto, na bacia dominam as áreas agrícolas (50,9%), principalmente culturas anuais associadas a culturas permanentes. Nesta bacia registou-se um aumento de 6% da área urbana e uma diminuição das áreas agrícolas e florestais de 1990 para 2006 (Figura 3.11 e Figura 3.12). A bacia do Corgo é caracterizada por 55% de áreas florestais e 41% da área agrícola. É de destacar a importância das vinhas na área terminal da bacia. A ocupação urbana representa 3,7% da bacia hidrográfica, em que se destaca a cidade de Vila Real.



Figura 3.11. Áreas agrícolas, edificadas e florestais (%) e evolução, entre 1990 e 2006, nas bacias hidrográficas em estudo.

A evolução de 1990 para 2006 indica um aumento da área urbana (3,7%) e uma reduzida diminuição das áreas agrícolas e florestais (Figura 3.11 e Figura 3.12). Na bacia do rio Távora



predominam as áreas florestais (61,5%) e as áreas agrícolas (36,9%). Nas áreas florestais destacam-se as florestas ou vegetação arbustiva de transição e as zonas de vegetação esparsa. Nas áreas agrícolas predominam as terras aráveis não irrigadas e as vinhas. A área urbana ocupa apenas 0,8% da bacia. De 1990 para 2006, verificou-se um aumento muito ligeiro das áreas agrícolas (1,6%) e das áreas urbanas (0,4%), em detrimento das áreas florestais (-1,9%) (Figura 3.11 e Figura 3.12). Em todas as bacias em estudo verificou-se uma diminuição, muito reduzida das áreas florestais.

As consequências da desflorestação são maiores se a cheia for de baixa magnitude. Os seus efeitos diminuem se a precipitação for forte e prolongada, criando condições generalizadas de saturação e redução dos valores de infiltração (Smith & Ward, 1998). As suas consequências são também menos importantes quando os valores de armazenamento iniciais são baixos, por exemplo, em pântanos e encostas íngremes, com solos rasos, que produzem fluxos rápidos, ou quando o pico de cheia se move para jusante e a desflorestação ocorra nos sectores montantes das bacias (Smith & Ward, 1998). A desflorestação entre 1990 e 2006 é mais notória na bacia do Este (Figura 3.11 e Figura 3.12): menos 4,1% de floresta e mais 6% de área urbana. Em segundo lugar, surge a bacia do Corgo com menos 2% de área florestal e mais 2,4% de área edificada.

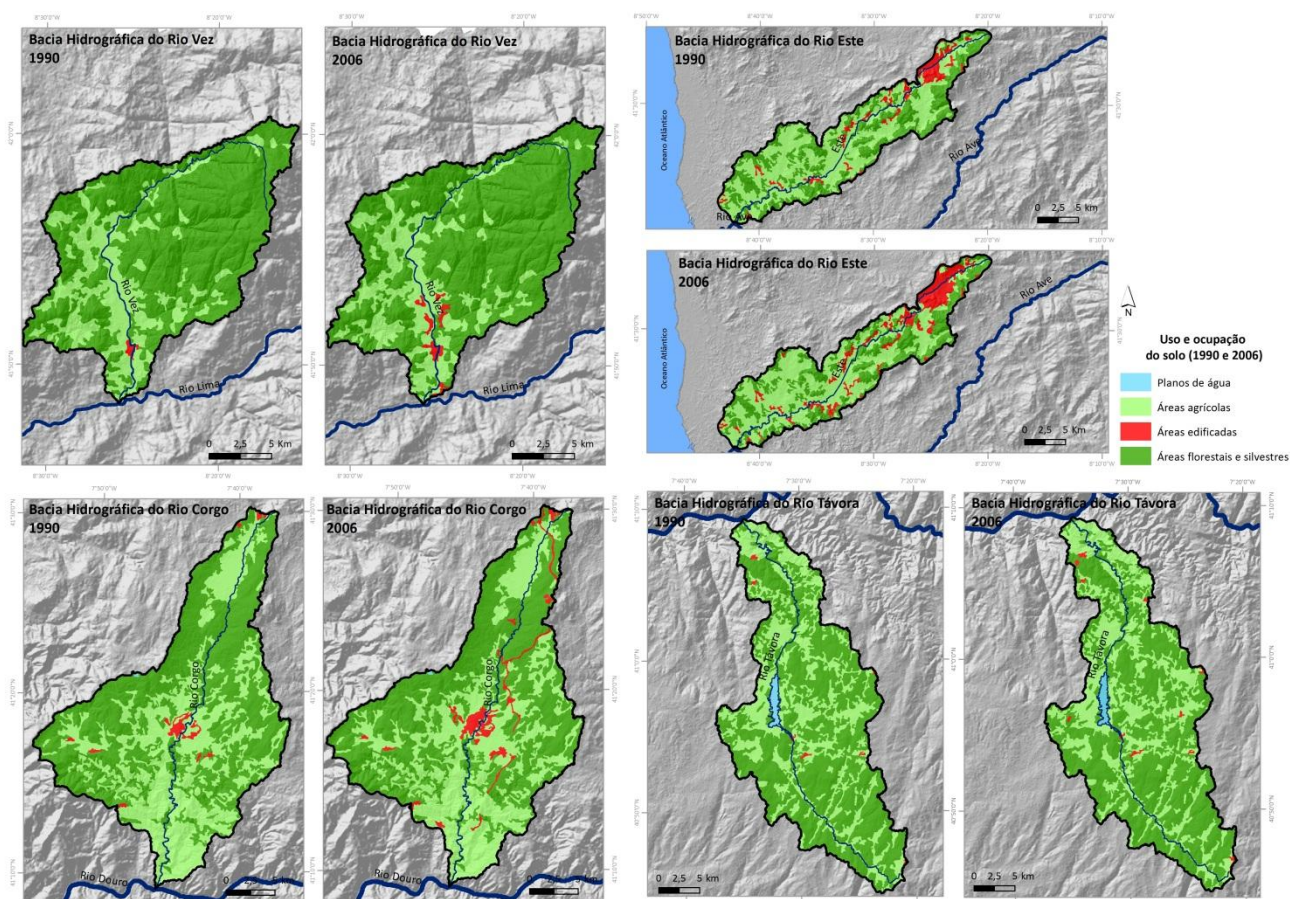


Figura 3.12. Uso e ocupação do solo em 1990 e 2006.

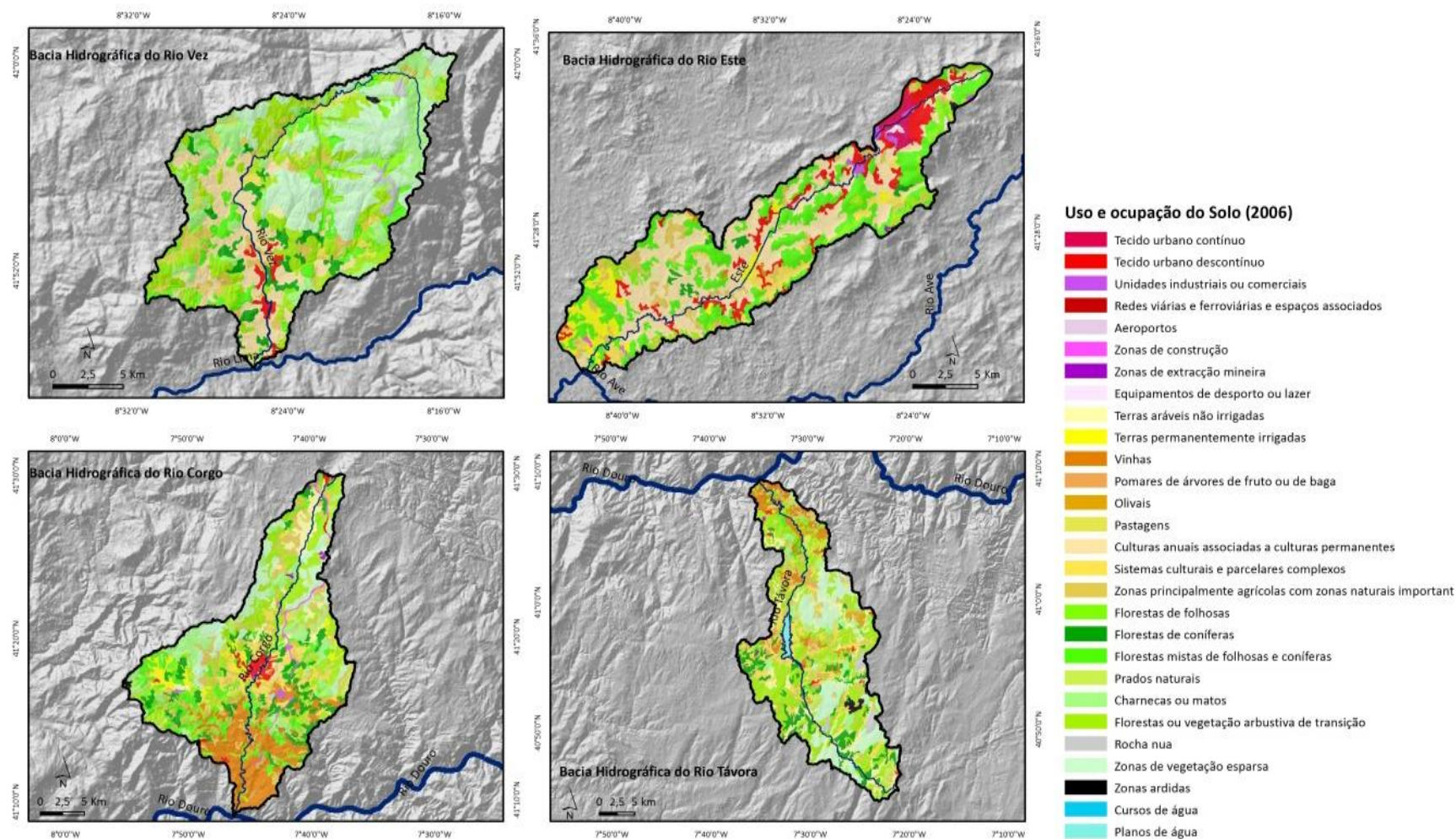


Figura 3.13. Uso e ocupação do solo em 2006, nas bacias hidrográficas em estudo.



### 3.4. Tempo de Concentração

O tempo de concentração de uma bacia hidrográfica é o tempo que uma gota de água, partindo do seu ponto cinematicamente mais afastado, leva para atingir a secção de referência (Lima & Lima, 2010). O tempo de concentração pode ser influenciado por inúmeros fatores, tais como: área e forma da bacia, comprimento e declive do curso de água principal, declive médio da bacia, tipo de cobertura vegetal, tipo de ocupação do solo, comprimento e declive dos afluentes, distância horizontal entre o ponto mais distante e a secção de referência e coeficiente de rugosidade do canal de escoamento, características pedológicas e geológicas, teor de humidade da camada superficial do solo (Chow *et al.*, 1988; Lencastre & Franco, 2003; Lima & Lima, 2010). Segundo Ramos (2009), o tempo de concentração é mais elevado em bacias alongadas e estreitas e mais baixo em bacias arredondadas e com declives elevados. Por outro lado, o tempo de concentração aumenta com o comprimento dos canais que constituem a rede de drenagem, a elevada permeabilidade do solo e subsolo e o coberto vegetal (Ramos, 2009).

Existem várias fórmulas de cálculo do tempo de concentração. Correia (1984) propõe para utilização em Portugal da fórmula de Temez (1978). A fórmula é a seguinte:

$$T_c = 0,3 \left( \frac{L}{D_c^{0,25}} \right)^{0,76}$$

*Equação 3.19*

Em que:

$T_c$  é o tempo de concentração em horas;  $L$  é o comprimento do curso de água principal em km;

$D_c$  é o declive médio do curso principal em m/m.

Os resultados mostram que o tempo de concentração é mais baixo na bacia do Vez e mais elevado na bacia do Távora (Quadro 3.6).

*Quadro 3.6. Tempo de concentração nas bacias em estudo.*

Bacias Hidrográficas	Tempo de Concentração horas
<b>Vez</b>	<b>9,64</b>
<b>Este</b>	<b>15,18</b>
<b>Corgo</b>	<b>12,60</b>
<b>Távora</b>	<b>17,10</b>

### 3.5. Número de escoamento segundo o SCS

O cálculo do número de escoamento (CN) de uma bacia hidrográfica permite a caracterização de cheias resultantes de precipitações intensas (Portela *et al.*, 2000). O CN depende do tipo hidrológico do solo, da sua utilização e das condições de superfície. De acordo com a classificação apresentada pelo *Soil Conservation Service* (SCS), os solos podem ser classificados em quatro tipos (Lencastre & Franco, 2003):

*“Tipo A – Baixo potencial de escoamento superficial: solos com elevadas intensidades de infiltração, mesmo quando completamente humedecidos. Incluem principalmente areias profundas com drenagem boa ou excessiva. Estes solos possuem uma elevada transmissividade;*

*Tipo B – Potencial de escoamento abaixo da média: solos com intensidades de infiltração moderadas, quando completamente humedecidos. Incluem principalmente solos medianamente profundos, com textura moderadamente fina e moderadamente grosseira e medianamente drenados. Estes solos possuem uma transmissividade média;*

*Tipo C – Potencial de escoamento acima da média: solos com baixas intensidades de infiltração, quando completamente humedecidos. Incluem principalmente solos com camadas impermeáveis subjacentes e solos com textura moderadamente fina. Estes solos possuem uma transmissividade baixa;*

*Tipo D – Potencial elevado de escoamento superficial: solos com intensidades de infiltração muito baixas, quando completamente humedecidos. Incluem principalmente solos argilosos expansíveis, solos com nível freático permanentemente próximo da superfície e solos com substratos impermeáveis a pouca profundidade. Estes solos possuem uma transmissividade muito baixa.”*

Para o cálculo de CN é necessário, para além do tipo de solos, informação do tipo de uso e ocupação dos mesmos e o declive. Deste modo, para cada condição antecedente de humidade do solo (AMC – *Antecedent Moisture Condition*), foram desenvolvidas tabelas com os respetivos valores a associar a cada tipo de uso e cobertura do solo. Existem três condições de AMC, de acordo com Correia (1984):

*“AMC-I - Situação em que os solos estão secos, mas não no ponto de emurchecimento.*

*AMC-II - Situação média em que a humidade do solo deve corresponder aproximadamente à capacidade de campo. Corresponde provavelmente às condições de humidade antecedentes de cheias de pequenas dimensões.*

*AMC-III - Situação em que ocorreram precipitações consideráveis nos cinco dias anteriores e o solo encontra-se quase saturado.”*

As situações de AMC-III são as mais favoráveis à ocorrência de cheias em Portugal (Correia, 1984), no entanto não se devem desvalorizar as restantes condições de AMC.

A informação de base utilizada para a obtenção da cartografia de CN foi o MDT, carta de uso e ocupação do solo (*Corine Land Cover*, 2006, à escala 1: 100 000) e cartas dos solos (Carta dos Solos do Nordeste de Portugal, 2003, à escala 1: 100 000; Carta dos Solos da Região de Entre-Douro e Minho, 1991, à escala 1: 100 000. Para a obtenção da cartografia de CN, para condições de AMC-II utilizou-se a metodologia adaptada de Férrer *et al.* (1995). Em primeiro lugar, criaram-se os mapas de declives, classificados em declives <3% e ≥3%. O segundo passo foi reclassificar os tipos de solo, de acordo com o grupo hidrológico correspondente, adaptado de Oliveira e Lobo Ferreira (2002) (Quadro 3.7) e através da relação entre o sistema de classificação de solos do S.R.O.A (Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário) e o sistema de classificação de solos da F.A.O (Food and Agriculture Organization of the United Nations), adaptado de Pimenta (1998). De seguida foram reclassificados os diferentes tipos de uso e ocupação do solo. A cada uma das variáveis que intervêm no modelo, foi atribuído um número primo. No final, integraram-se todas as variáveis no algoritmo de análise combinatória em SIG, com resolução espacial de 5 x 5 metros (Figura 3.14). O mapa resultante foi reclassificado pelos valores de referência de CN adaptados do Plano Hidrológico do Rio Ebro (Ministerio de Agricultura, 2013). Uma vez que interessa analisar as restantes condições antecedentes de humidade do solo, os valores do número de escoamento, *CN*, foram corrigidos para as situações AMC-I e AMC-III, em função de Chow *et al.* (1988) em que:

$$CN(I) = \frac{4,2CN(II)}{10 - 0,058CN(II)}$$

*Equação 3.20*

$$CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0,13CN(II)}$$

*Equação 3.21*

Os resultados estão compreendidos entre 0 e 100: o zero indica um menor potencial de geração superficial e o 100 corresponde a uma bacia totalmente impermeável, consoante as três condições antecedentes de humidade do solo. Quanto menor for o valor do *número de*



escoamento, maior é a permeabilidade do solo. O modelo conceptual para a obtenção de CN encontra-se na Figura 3.14.

Quadro 3.7. Caracterização do tipo de solo, em função da legenda da Carta dos Solos de Portugal.

Solo	Tipo	Solo	Tipo	Solo	Tipo	Solo	Tipo	Solo	Tipo
A	B	Atc	C	Pac	C	Ppx	C	Srt	C
Aa	D	Atl	C	Pag	D	Pqx	C	Srth	D
Aac	D	Atlc	C	Pagn	D	Ps	D	Ss	Z
Ac	C	Bp	D	Pagp	D	Psn	B	Svc'	D
Al	B	Bpc	D	Pagx	D	Pt	B	Svqx	C
Alc	C	Bva	D	Par	B	Ptc	C	Va	D
Ap	A	Bvc	D	Par*	B	Pv	D	Vac	D
Aph	C	Ca	D	Pat	B	Pvc	C	Vag	D
Apr	A	Caa	D	Pb	D	Pvl	D	Val	C
Arb	D	Caac	D	Pbc	D	Pvx	C	Vc	D
Arc	D	Cac	D	Pc	C	Px	D	Vc'	D
Arct	D	Cal	D	Pc'	C	Pxr	D	Vcc	C
Arcx	D	Calc	D	Pca	D	Pz	A	Vcd	D
Ard	D	Cb	D	Pcd	D	Pzh	C	Vcm	D
Arg	D	Cbc	D	Pcg	C	Qx	B	Vcr	D
Argn	D	Cd	D	Pcn	C	Rc	B	Vcs	C
Arm	D	Cp	D	Pcr	D	Rg	A	Vct	C
Arp	D	Cpc	D	Pcs	D	Rgc	B	Vcv	D
Arq	B	Cpv	D	Pct	D	S	Z	Vcx	D
Ars	D	Eb	D	Pcx	D	Sag	D	Vdc	D
Art	D	Ec	D	Pcz	D	Sah	D	Vdg	D
Arx	D	Ed	D	Pdc	D	Sb	C	Vf	C
As	D	Eg	D	Pdg	D	Sba	C	Vgn	C
Asa	D	Egn	D	Pg	B	Sbac	C	VI	B
Asac	D	Ep	D	Pga	B	Sbc	C	Vm	C
Asc	D	Eq	C	Pgm	B	Sbl	B	Vmc	D
Asl	D	Et	D	Pgn	B	Sblc	B	Vmg	C
Aslc	D	Etc	D	Pm	D	Scv	C	Vq	C
Asoc	Z	Ets	D	Pmc	D	Sg	D	Vqx	C
Ass	D	Ex	D	Pmg	D	Sn	Z	Vt	B
Assa	D	Mnga	B	Pmh	D	Sp	D	Vtc	D
Assac	D	Mnq	B	Pmn	C	Spb	D	Vtd	D
Assc	D	Mnqx	B	Ppg	C	Spc'	D	Vts	B
Assl	D	Mns	B	Ppm	D	Spq	D	Vx	D
Asslc	D	Mnsx	B	Ppn	B	Spqx	C	Vxr	C
At	C	Mnt	C	Ppq	B	Sq	B		
Ata	D	Mnx	C	Ppr	A	Sr	C		
Atac	D	Pa	D	Ppt	B	Sr*	C		

Adaptado de Oliveira & Lobo Ferreira (2002).



Figura 3.14. Esquema conceptual para a obtenção do CN para as três condições de AMC.

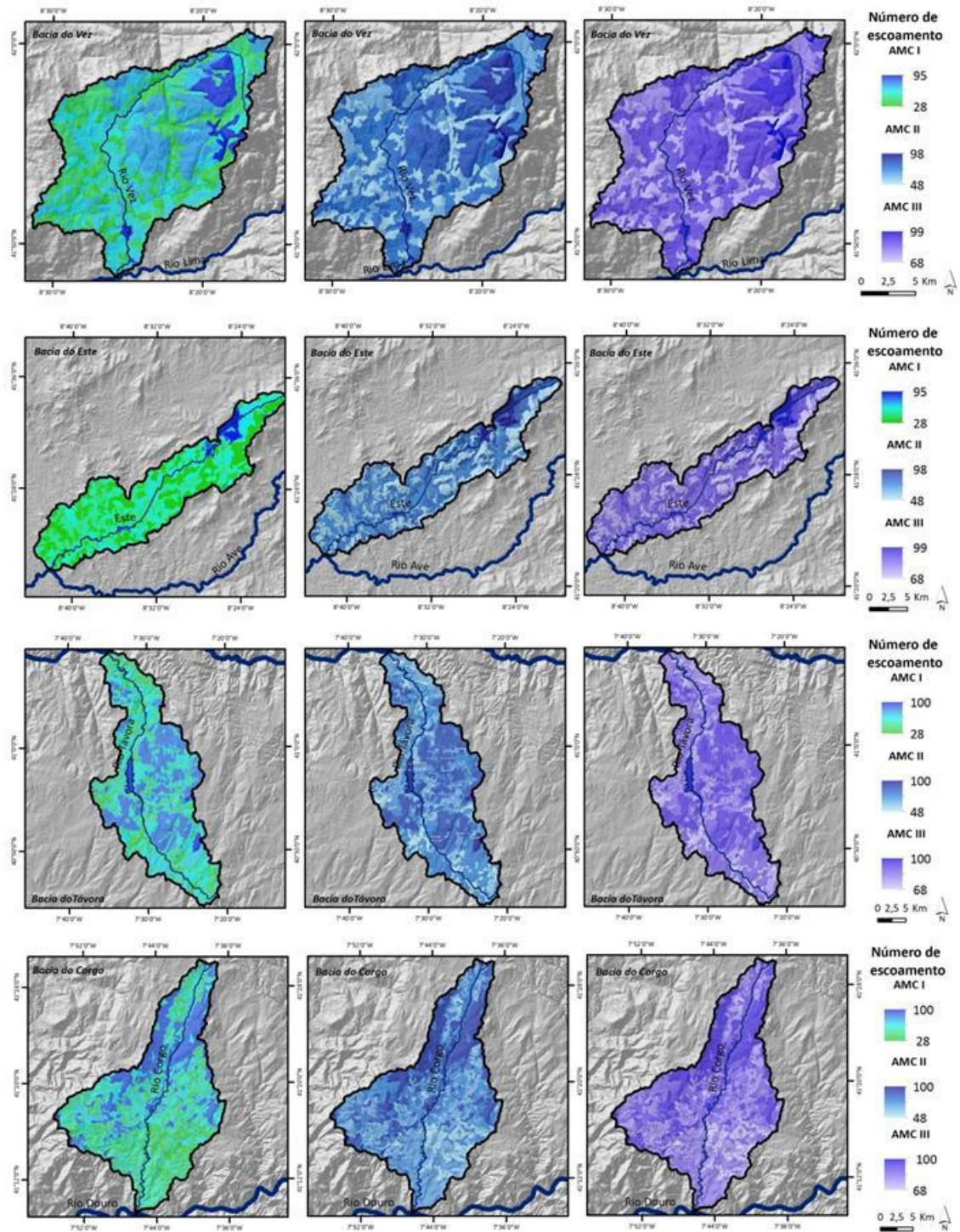


Figura 3.15. Números de escoamento para as diferentes condições de AMC para as bacias em estudo.

Na Figura 3.15 estão presentes os números de escoamento para as diferentes condições de AMC para as bacias do Vez, Este, Corgo e Távora. É possível verificar a heterogeneidade espacial dos CN para as diferentes condições de AMC e as áreas da bacia onde o escoamento direto é mais intenso. Os valores mais elevados em todas as bacias localizam-se nas áreas

urbanas, áreas de rocha nua e locais com vegetação esparsa. No **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, podemos observar que os valores dos números de escoamento são idênticos para a AMC-III, condição mais favorável à ocorrência de cheias.

Quadro 3.8. Números de escoamento (CN) médios para diferentes condições de AMC.

BH Vez		BH Este	
AMC -I	49,0	AMC -I	45,3
AMC -II	72,7	AMC -II	74,5
AMC -III	82,8	AMC -III	80,4
BH Corgo		BH Távora	
AMC -I	52,6	AMC -I	55,5
AMC -II	74,1	AMC -II	74,4
AMC -III	84,6	AMC -III	86,1

### 3.6. Suscetibilidade a cheias

A construção de cartografia de avaliação de ocorrência de cheias constitui um passo essencial na investigação deste tipo de processos naturais e pode basear-se em métodos históricos, hidrológicos e hidráulicos, geomorfológicos ou na combinação de ambos (Díez-Herrero *et al.*, 2009; Reis, 2011). Por um lado, os modelos hidrológicos e hidráulicos apresentam algumas limitações, uma vez que são exigentes em dados de base, como dados pluviométricos e hidrométricos representativos da bacia hidrográfica (Apel *et al.*, 2009; Reis, 2011). Por outro lado, os modelos geomorfológicos são bastante morosos em termos de trabalho (Reis, 2011). Deste modo, neste trabalho, é aplicado um modelo de avaliação automático, que permite efetuar o diagnóstico das condições da bacia hidrográfica, de forma mais rápida e simples. A avaliação da suscetibilidade a cheias nas bacias em estudo tem por base a metodologia desenvolvida por Reis (2011) e aplicada por Ascenso (2011) e Lúcio (2014). Segundo Ascenso (2011) esta metodologia segue as disposições definidas nas Orientações Estratégicas da REN (Rodrigues, 2010) e no Guia Metodológico para a Produção de Cartografia de Risco e para a criação de Sistemas de Informação Geográfica de Base Municipal (Julião *et al.*, 2009). Esta metodologia não pretende abordar a suscetibilidade por tipologia de cheias, mas identificar os sectores onde os fatores geomorfológicos são mais relevantes na criação de condições favoráveis à ocorrência de cheias.

No processo de avaliação de suscetibilidade à ocorrência de cheias são múltiplas as variáveis espaciais que podem ser selecionadas, como por exemplo a área da bacia hidrográfica, a distribuição espacial da precipitação, o declive das vertentes, a permeabilidade, a ocupação do solo ou a hierarquia, magnitude e densidade da rede de drenagem. No entanto, a presença de multicolinearidade entre algumas destas variáveis, pode tornar o processo mais difícil (Reis, 2011). Segundo Reis (2011) este modelo de avaliação de suscetibilidade “*exige o desenvolvimento de procedimentos específicos para que os valores de uma variável num ponto da bacia hidrográfica reflitam as condições de toda a área que drena para esse local*”. Deste modo, o modelo baseia-se na integração de 3 fatores que permitem estimar as condições de resposta aos eventos pluviométricos e o fluxo acumulado potencial ao longo da bacia hidrográfica (Reis, 2011). São eles:

- Área de drenagem acumulada em cada ponto da bacia hidrográfica;
- Declive médio da área de drenagem em cada uma das células;
- Permeabilidade relativa média da área de drenagem em cada uma das células.

A área de drenagem indica a acumulação potencial do escoamento em cada célula; a variável da permeabilidade fornece a relação entre a água infiltrada e a água disponível para o escoamento direto; e o declive médio indica a velocidade de escoamento da água até cada célula.

Este modelo assenta num conjunto de procedimentos em SIG e tem por base, o MDT, elaborado através da extensão *3d Analyst do ArcGis 10* (Figura 3.16). A partir dele, determinaram-se o declive e a área acumulada. O modelo original aplicado por Reis (2011) utiliza a geologia e a ocupação do solo para a obtenção da permeabilidade. Neste trabalho optou-se por utilizar os CN para uma condição antecedente de humidade (AMC) III, uma vez que determina a quantidade aproximada de escoamento superficial direto gerado em resposta a um determinado evento de precipitação considerável. Todas as variáveis foram transformadas em formato *raster* com uma resolução espacial de 10m.

O cálculo dos parâmetros acumulados foi realizado através da ferramenta *Flow Direction* do separador *Hydrology* da extensão *Spatial Analyst do ArcGis 10*, que indica a direção do fluxo de cada célula. A partir deste mapa, calculou-se a área acumulada, que delimita a acumulação do fluxo em cada célula, assim como o declive acumulado e o número de escoamento acumulado (Figura 3.16). Os valores médios resultam da divisão destas duas variáveis pela área acumulada. De seguida, procedeu-se à padronização das variáveis e integração num modelo de análise multicritério, utilizando a função *raster calculator* do *ArcGis 10*.



Figura 3.16. Esquema metodológico de avaliação de suscetibilidade à ocorrência de cheias nas bacias em estudo.

Este cruzamento, através da ponderação, determinou a suscetibilidade de cada curso de água para originar cheias, sendo que cada curso de água foi classificado tendo por base limites naturais. Esta metodologia funciona de forma iterativa, através do ajuste das ponderações que expõem as condições da bacia hidrográfica. Desta forma, testaram-se várias hipóteses, com diferentes ponderações. À acumulação de fluxos que define a convergência e a consequente acumulação de fluxos, foi-lhe atribuído o peso mais elevado. De seguida, surge o declive com o segundo peso mais elevado, uma vez que é responsável pela velocidade de escoamento, e por último a variável dos números de escoamento. A expressão final foi a mesma que utilizada por Ascenso (2011):

$$Scheias = \left[ (0,001A_c^{0,467})^2 \times (0,038D_c + 0,007)^{\frac{1}{2}} \times (-0,098CN_m + 0,99)^{\frac{1}{3}} \right]^{0,3}$$

Equação 3.22



Em que:

$A_c$  é a área de drenagem acumulada

$D_c$  é o declive médio

$CN_m$  é o número de escoamento médio

O processo termina quando os resultados permitem identificar corretamente as ocorrências de cheias registadas (Reis, 2011).

Os cursos de água com maior capacidade de gerar cheias estão classificados com suscetibilidade elevada e muito elevada e são as linhas de água com maior hierarquia, magnitude e uma maior concentração de escoamento, potenciando o efeito da cheia em eventos de precipitação extremos.

A suscetibilidade muito elevada encontra-se em grande parte do rio Vez, sendo também o rio com maior magnitude e hierarquia da bacia. Os cursos de água com suscetibilidade elevada são grande parte dos rios Cabreiro, Ázere e as ribeiras de Porto de Avelar e Frio (Figura 3.17).

Na bacia do rio Este, grande parte do rio apresenta suscetibilidade muito elevada a cheias. Alguns cursos de água apresentam suscetibilidade elevada, tanto na margem direita como na margem esquerda do rio Este, tais como: Ribeiro Porralhos, Macieira, Rio Guizando e Rio Veiga (Figura 3.18).

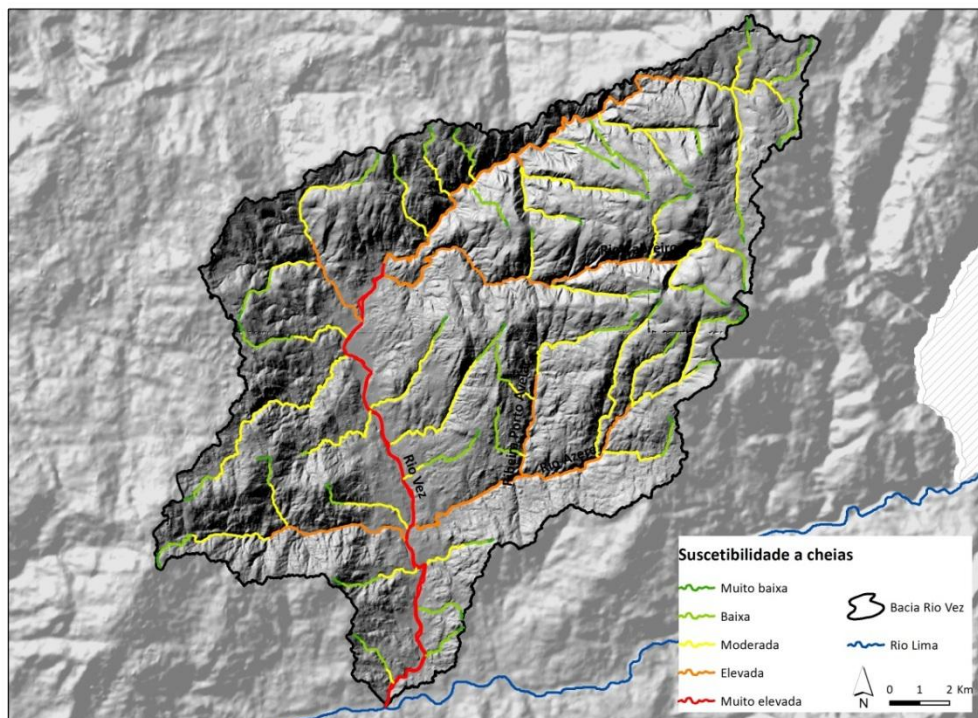


Figura 3.17. Suscetibilidade dos cursos de água para gerar cheias na bacia do rio Vez.

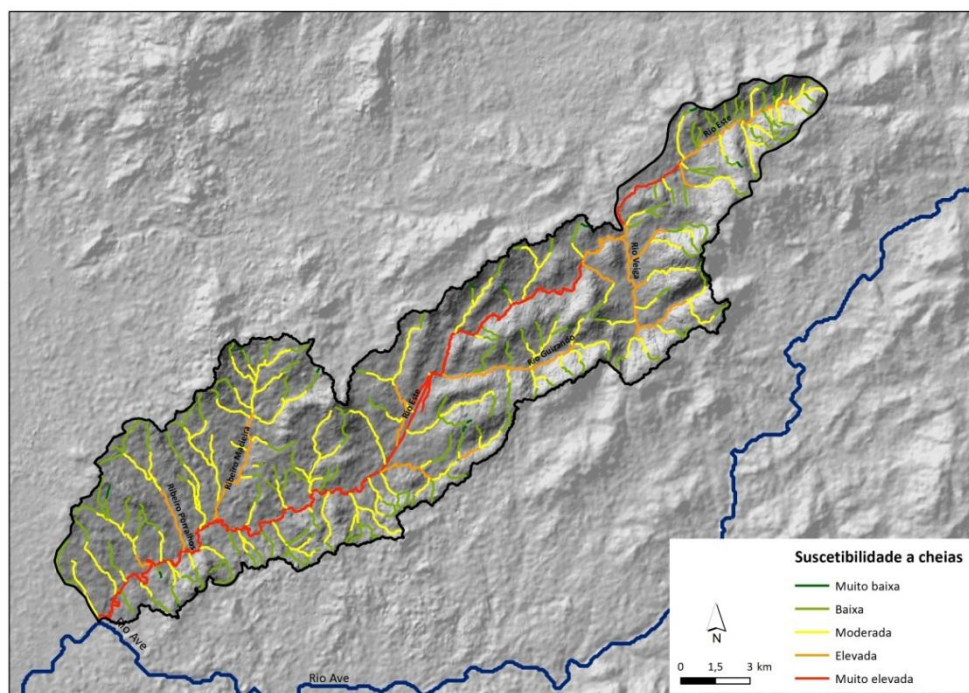


Figura 3.18. Suscetibilidade dos cursos de água para gerar cheias na bacia do rio Este.

Na bacia do rio Corgo, a suscetibilidade muito elevada encontra-se no sector final do rio Corgo. A maior parte do restante sector do rio Corgo e os cursos de água de Ribeira de Tanha, Ribeira da Arca, Rio Aguilhão e Ribeira Marinheira ostentam suscetibilidade elevada (Figura 3.19). Todo o sector do rio Távora da foz até à barragem do Vilar apresenta suscetibilidade muito elevada. Os principais afluentes do rio Távora, como as ribeiras de Ferreirim, Rio de Mel, Açores e de Tabarelas apresentam suscetibilidade elevada à geração de cheias (Figura 3.20). A validação da metodologia de avaliação da suscetibilidade dos cursos de água de gerar cheias é fundamental para assegurar a qualidade da metodologia adotada (Jiang *et al.*, 2009), apesar de que a correta confirmação só será possível com ocorrências de cheias futuras (Ascenso, 2011). Partindo do princípio que não há alterações significativas nas características das bacias hidrográficas ao longo do período de registo das cheias, utilizou-se a localização das cheias registadas no passado, para a validação da metodologia adotada.

Do total de ocorrências, nas quatro bacias em estudo, 75,7% localizam-se em sectores dos cursos de água classificados com suscetibilidade muito elevada, 17,1% com suscetibilidade elevada e 7,1% com suscetibilidade moderada. Na bacia do rio Vez, predominam os sectores classificados com suscetibilidade moderada e elevada (Figura 3.21). As ocorrências registadas de 1965 a 2011 na bacia do rio Vez encontram-se todas localizadas em troços dos cursos de água classificados na classe de suscetibilidade muito elevada (Figura 3.21).



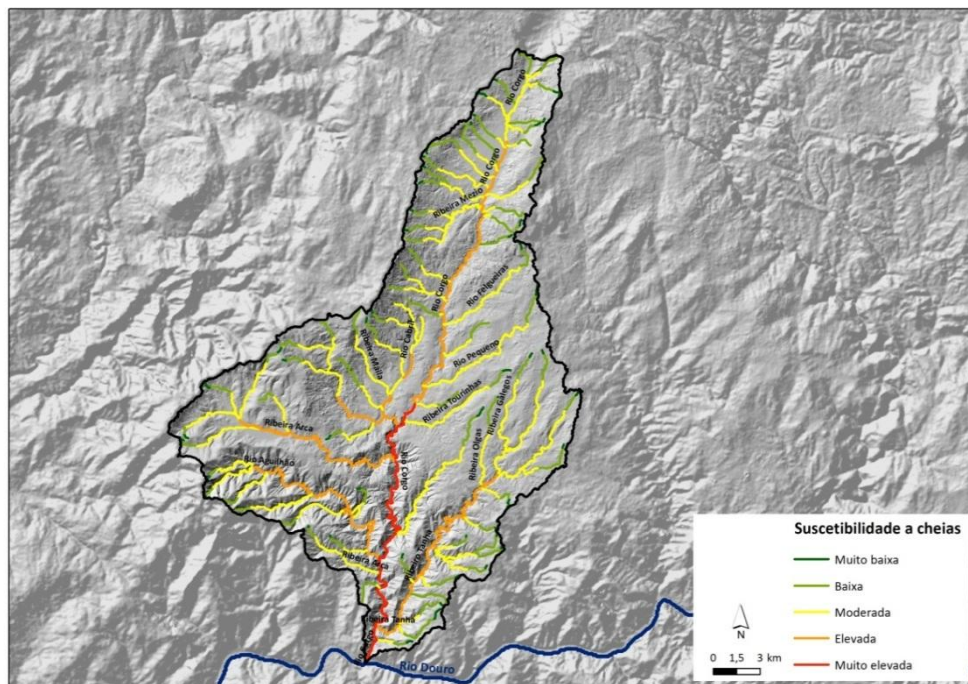


Figura 3.19. Suscetibilidade dos cursos de água para gerar cheias na bacia do rio Corgo.

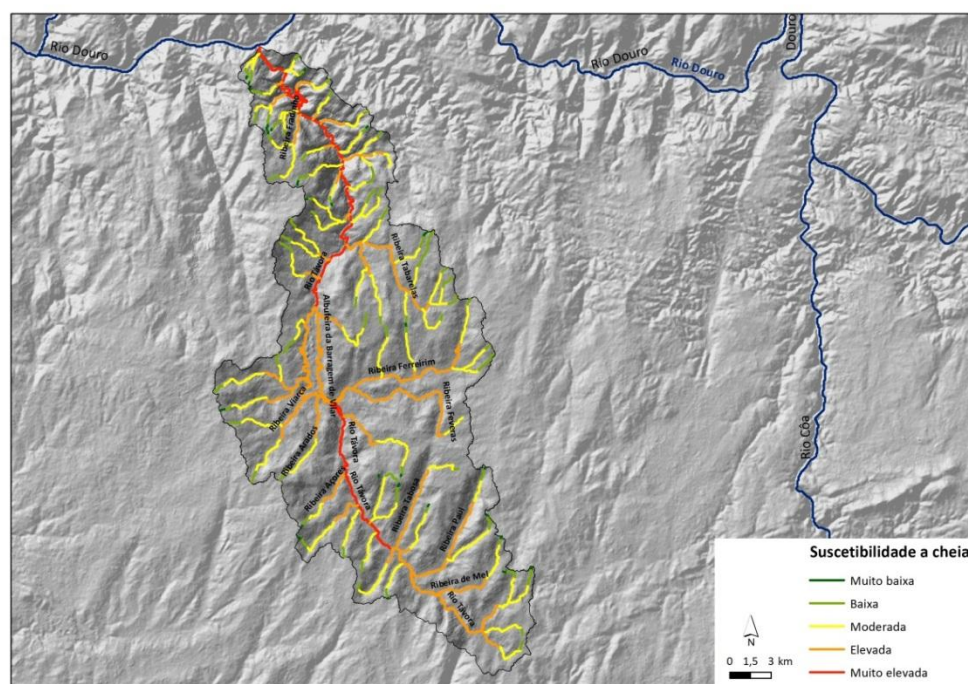


Figura 3.20. Suscetibilidade dos cursos de água para gerar cheias na bacia do rio Távora.



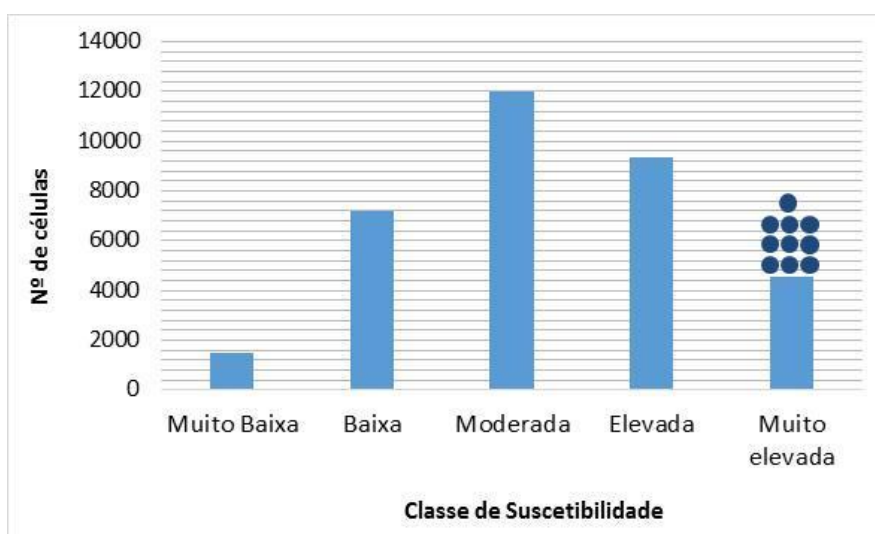


Figura 3.21. Classes de suscetibilidade à ocorrência de cheias e ocorrências registradas na bacia do rio Vez.

Na bacia do rio Este prevalecem os cursos de água classificados com suscetibilidade baixa e moderada (Figura 3.22). Do total de ocorrências, 22 localizam-se em sectores classificados com suscetibilidade muito elevada e apenas 3 ocorrências encontram-se em sectores com suscetibilidade elevada (Figura 3.22).

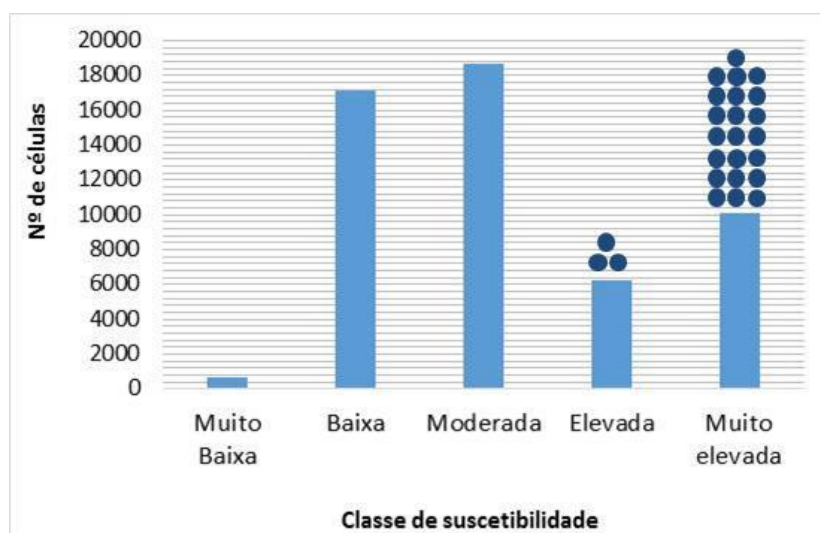


Figura 3.22. Classes de suscetibilidade à ocorrência de cheias e ocorrências registradas na bacia do rio Este.

Na bacia do rio Corgo imperam os cursos de água classificados com suscetibilidade moderada e elevada. Verifica-se que 5 ocorrências localizam-se em sectores classificados com

suscetibilidade moderada. No entanto, nos sectores identificados com suscetibilidade muito elevada encontram-se 19 ocorrências e em sectores com suscetibilidade elevada, encontram-se 8 ocorrências (Figura 3.23).

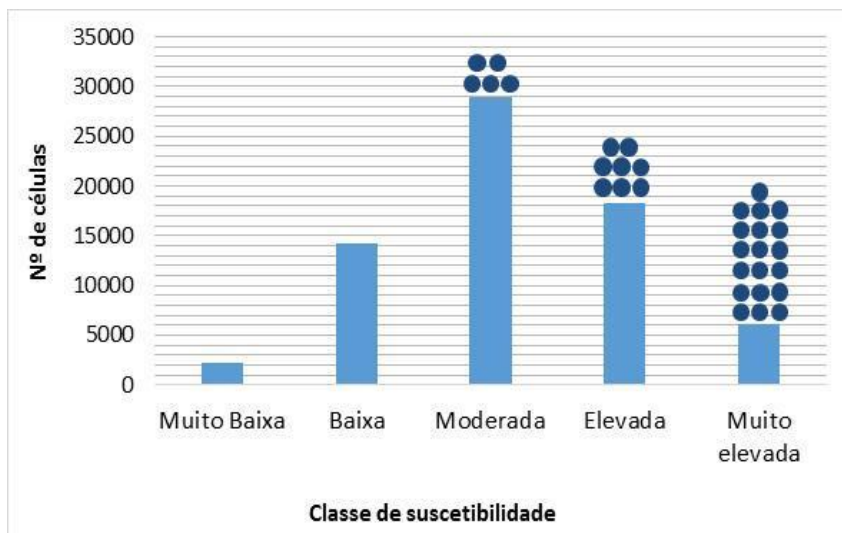


Figura 3.23. Classes de suscetibilidade à ocorrência de cheias e ocorrências registadas na bacia do rio Corgo.

Na bacia do rio Távora predominam os cursos de água classificados com suscetibilidade elevada e moderada. Do total de ocorrências de cheias, 5 registam-se em áreas classificadas com suscetibilidade muito elevada e uma ocorrência em áreas com suscetibilidade elevada (Figura 3.24).

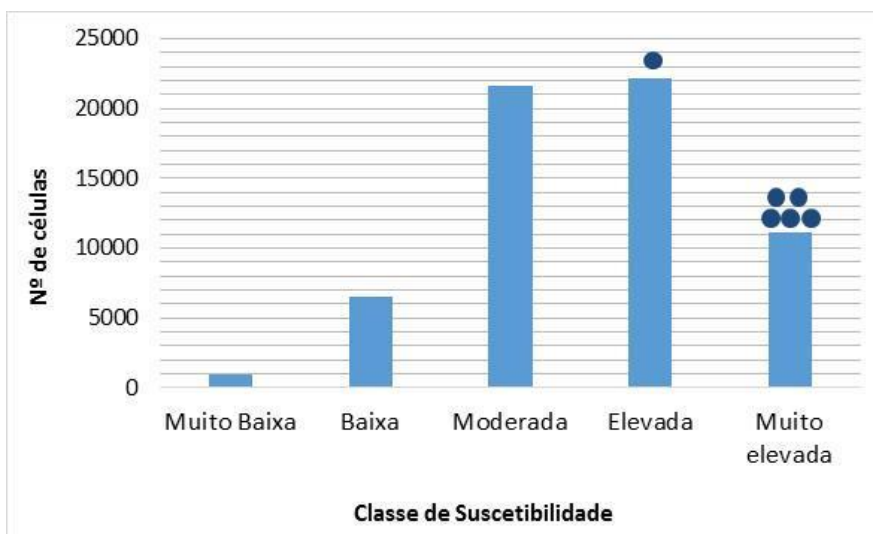


Figura 3.24. Classes de suscetibilidade à ocorrência de cheias e ocorrências registadas na bacia do rio Távora.

### 3.7. Conclusão

O objetivo deste capítulo relaciona-se com a caracterização das bacias de estudo: Vez, Este, Corgo e Távora. Em primeiro lugar realizou-se uma análise aos fatores permanentes condicionantes das cheias: geometria, rede de drenagem, relevo, geologia e solos. Desta análise podemos concluir que:

- A bacia do Este é a bacia mais pequena, e a bacia do Távora a bacia maior, das quatro em análise;
- A densidade hídrica é mais elevada nas bacias do Távora e Corgo. É também nestas bacias que o coeficiente de torrencialidade é mais elevado;
- O declive que afeta a velocidade de escoamento, a quantidade de infiltração, bem como a intensidade de erosão hídrica é mais elevado nas bacias do Vez e Corgo, onde grande parte das suas áreas drenantes se encontram a cotas elevadas;
- Quanto à geologia, nas bacias do Vez e Este dominam as rochas graníticas. Nas bacias do Távora e Corgo, apesar da presença dos granitos, na parte terminal das bacias, dominam as rochas metassedimentares. Nos locais com os declives médios mais elevados predominam os granitos nas bacias do Vez e Este e por isso possibilitam uma grande infiltração mesmo para nos declives elevados.
- Nas bacias do Corgo e Távora, os sectores terminais são os que apresentam os declives médios mais elevados e onde imperam os metassedimentos, e por isso a capacidade de infiltração é débil aumentando a importância dos processos de escoamento superficial.

Em segundo lugar analisaram-se os fatores variáveis condicionantes das cheias: uso e ocupação do solo. A bacia do Este é a que regista alterações do uso do solo mais acentuadas: um aumento significativo da densidade populacional nomeadamente a partir de 1950 e entre 1990 e 2006 verifica-se uma diminuição de 4,1% da floresta e um aumento de 6% da área urbana. Na bacia do Corgo também se constata uma diminuição da floresta (-2%) e um aumento da área urbana (+2,4%). Nas bacias do Vez e Távora, entre 1990 e 2006 as diferenças percentuais são reduzidas, apesar de se continuar a verificar um aumento das áreas urbanizadas e uma diminuição das áreas florestais.

A bacia do Vez apresenta o tempo de concentração mais baixo (cerca de 10 horas) e a bacia do Távora o tempo de concentração mais elevado (17 horas). Os resultados médios do número de

escoamento são idênticos para as quatro bacias, sendo que quanto maior for o valor do número de escoamento, maior é a impermeabilidade do solo. Para as condições antecedentes de humidade do solo mais propícias à ocorrência de cheias (AMC-III) este valor ronda os 83 (numa escala de 0 a 100), sendo mais elevado na bacia do Távora (86). Em termos espaciais são as áreas urbanas, áreas de rocha nua e locais com vegetação esparsa que apresentam os valores mais elevados, sendo nestes locais o escoamento direto mais intenso.

Assim, a análise às características permanentes das bacias variam de bacia para bacia, não se verificando nenhuma supremacia de uma bacia em relação às outras. Se em termos geométricos a bacia do Vez é mais propensa à ocorrência de cheias, em termos de rede de drenagem destaca-se a bacia do Távora. Em relação ao relevo são as bacias do Vez e Corgo as mais suscetíveis à ocorrência de cheias, apesar de que os declives médios mais elevados nas bacias do Corgo e Távora se situarem em áreas dominadas por metassedimentos. A bacia do Este destaca-se com o maior aumento de área urbanizada e maior desflorestação na área da bacia entre 1990 e 2006.

A suscetibilidade dos cursos de água, realizada através de uma análise multicritério à ocorrência de cheias, é mais elevada nos troços finais dos rios. O rio Este apresenta quase todo o seu percurso com suscetibilidade muito elevada. As bacias dos Vez e Este são as que apresentam mais sectores com suscetibilidade elevada ou muito elevada (ponderadas pela área das bacias). No total, 97% das ocorrências encontram-se nos sectores de suscetibilidade elevada ou muito elevada mostrando a validade do modelo aplicado nas quatro bacias em estudo.

## Capítulo 4. Aquisição e validação da informação pluviométrica e hidrométrica

### 4.1. Aquisição e estruturação da informação pluviométrica

A fonte de dados utilizada para a recolha da informação pluviométrica foi o SNIRH da APA. A partir do ano hidrológico 2012/2013, este serviço está suspenso, devido à ausência de manutenção das estações hidro-meteorológicas, o que compromete a qualidade dos dados. Recolheram-se dados de precipitação anual, mensal, precipitação máxima diária anual, precipitação diária e precipitação horária, das estações da área em estudo, e também, de estações de áreas próximas às bacias em estudo. No total, foram recolhidos dados de 76 estações meteorológicas. É de referir que os dados de precipitação diária referem-se a períodos de 24 horas, com início às 9 horas do dia anterior ao dia que identifica um total pluviométrico. Na seleção das estações, foram escolhidas todas estações cujo período de funcionamento atingiu ou ultrapassou os 25 anos hidrológicos completos. De modo a cumprir os objetivos inicialmente propostos, os dados diários deverão corresponder a um período de observação longo, para permitir a validação da análise estatística e que as conclusões extraídas possam ser relevantes em termos climáticos. O índice de qualidade das séries anuais adotado pela APA resultou, do somatório das pontuações obtidas pelas séries (de outubro de 1959 a setembro de 1991) em cada um dos seguintes parâmetros:

- Coeficiente de variação da série anual;
- Observações anuais em falta em cada série;
- Associação linear observada entre as séries de precipitação anual;
- Resultados dos sete testes não paramétricos aplicados para avaliar a aleatoriedade (a  $\alpha=5\%$ ) das séries de precipitação anual disponíveis;
- Avaliação do ensaio duplamente acumulado desenvolvido sobre cada série anual disponível.

Deste modo, o indicador pode variar entre 5 e 15 pontos. Nesta escala de avaliação, as séries com pontuação entre 5 e 8 têm uma má qualidade da série anual, de 9 a 12, apresentam uma qualidade média de série anual e para pontuações superiores a 12, a série anual apresenta uma grande fiabilidade (Nicolau, 1999). De acordo, com o SNIRH, das estações selecionadas

para a bacia do rio Vez, cerca de 50% não estão classificadas, quanto à qualidade das séries anuais. Das estações com índice de qualidade, a maioria ostenta uma qualidade superior a doze, o que significa grande fiabilidade dos dados recolhidos (Quadro 4.1).

Quadro 4.1. Qualidade das séries anuais das estações estudadas para a bacia do rio Vez.

Código	Nome	Altitude (m)	Entrada em Funcionamento	Anos com dados diários	Estado	Índice de Qualidade
02G/01U	ABEDIM	440	1/1/1932	29	Extinta	-
02G/11UG	AVELEIRAS	200	10/1/1960	42	Ativa	12
02H/01UG	BOUÇA DOS HOMENS	1044	10/1/1960	33	Ativa	10
02H/07UG	BRITELLO	134	1/1/1932	69	Ativa	13
02G/10U	CABANA MAIOR 1	484	1/1/1932	29	Extinta	-
02G/12UG	CABANA MAIOR 2	436	7/1/1980	28	Ativa	-
02G/05UG	CABREIRO	221	10/1/1960	49	Ativa	14
02G/09G	CASAL SOEIRO	57	10/1/1960	41	Ativa	15
02F/02G	CERDEIRA	452	10/1/1960	39	Ativa	14
02F/04G	CHÃ DE VIRIALHO	692	10/1/1979	31	Ativa	-
02G/03G	EXTREMO	419	10/1/1960	41	Ativa	13
01F/01UG	FRIESTAS	32	10/1/1980	27	Ativa	-
03I/03UG	LEONTE	874	7/13/1941	60	Suspensa	-
02H/04U	LINDOSO 1	440	2/1/1933	29	Extinta	-
02H/09UG	LINDOSO 2	447	7/1/1980	23	Ativa	-
01G/03UG	MERUFE	162	10/1/1980	25	Ativa	-
01G/02UG	PARADA (MONÇÃO)	246	10/1/1980	29	Ativa	-
02H/03UG	PENEDA	697	11/1/1946	49	Ativa	13
03G/02C	PONTE DA BARCA	39	1/1/1932	78	Ativa	15
03F/01G	PONTE DE LIMA	18	1/1/1932	70	Ativa	15
03I/01G	PORTELA DO HOMEM	844	10/1/1948	61	Suspensa	-
01H/02G	PORTELINHA	1018	12/13/1944	54	Ativa	14
02G/04UG	SISTELO	509	10/1/1960	27	Ativa	13
02H/05G	TIBO DA GAVIEIRA	559	12/20/1943	58	Ativa	14
01F/02UG	VALENÇA	15	10/1/1979	30	Ativa	-
02E/02GC	VILA NOVA DE CERVEIRA	102	10/1/1979	27	Ativa	-

Fonte: SNIRH, APA.

Para a bacia do Este, foram seleccionadas 16 estações, das quais apenas 4 estão classificadas com o índice de qualidade. As estações de Barcelos, Caldelas, Fafe e Viatodos têm um índice de qualidade de 15 o que significa uma grande fiabilidade das séries anuais. As restantes estações não foram classificadas pelo SNIRH (Quadro 4.2). Pelo contrário, das estações seleccionadas para a bacia do Corgo, apenas uma não tem índice de qualidade. Das restantes, 70% estão classificadas com uma pontuação superior a 12, o que se traduz numa grande fiabilidade da série anual (Quadro 4.3).

Quadro 4.2. Qualidade das séries anuais das estações estudadas para a bacia do rio Este.

Código	Nome	Altitude (m)	Entrada em Funcionamento	Anos com dados diários	Estado	Índice de Qualidade
04F/01C	BARCELOS	36	1/1/1932	71	Ativa	15
03G/04UG	CALDELAS	93	12/1/1931	71	Ativa	15
05G/03UG	CASTELÕES	147	10/1/1979	29	Suspensa	-
05G/05UG	ESCUDEIROS	190	5/1/1980	30	Ativa	-
04E/02UG	ESPOSENDE	6	10/1/1979	31	Ativa	-
05H/01UC	FAFE	259	12/1/1931	70	Suspensa	15
05F/03UG	FARIA	65	6/1/1980	30	Ativa	-
04G/06C	GONDIZALVES	90	3/1/1980	30	Ativa	-
05G/06UG	LORDELO	110	10/1/1979	30	Ativa	-
04E/03UG	PALME	99	7/1/1980	30	Ativa	-
05F/02UG	PARADA	59	10/1/1979	31	Ativa	-
04G/03UG	TURIZ	70	6/1/1980	30	Ativa	-
04F/03UG	UCHA	52	6/1/1980	28	Ativa	-
05F/01UG	VIATODOS	83	12/1/1931	77	Ativa	15
04G/05UG	VILAÇA	140	5/1/1980	30	Ativa	-
06E/03UG	VILA CHÃ (MINDELO)	37	10/1/1979	29	Ativa	-

Quadro 4.3. Qualidade das séries anuais das estações estudadas para a bacia do rio Corgo.

Código	Nome	Altitude (m)	Entrada em Funcionamento	Anos com dados diários	Estado	Índice de Qualidade
06I/01G	AMARANTE	146	7/1/1915	72	Ativa	15
04J/06UG	CABECEIRAS DE BASTO	263	1/1/1913	86	Ativa	13
06J/01UG	CAMPEA	718	9/20/1959	37	Ativa	14
06J/02UG	CANDEMIL	449	4/21/1932	65	Ativa	10
04J/04UG	CAVEZ	292	6/21/1932	65	Ativa	14
05I/01UG	CELORICO DE BASTO	227	6/22/1932	65	Ativa	15
05M/01UG	JOU	694	2/6/1957	52	Ativa	10
05K/02UG	LAMAS DE ALVADIA	964	1/1/1933	66	Ativa	13
05K/03UG	LAMAS DE OLO	984	10/1/1945	53	Ativa	9
04K/03UG	LIXA DO ALVÃO	939	4/1/1946	52	Ativa	12
05I/03UG	LOUREIRO	479	10/1/1979	29	Ativa	-
05L/02C	MINAS DE JALES	853	2/3/1957	54	Ativa	11
04K/01UG	RIBEIRA DA PENA	376	10/1/1932	33	Ativa	12
04K/02G	SANTA MARTA DA MONTANHA	866	10/15/1938	72	Ativa	15
05L/03UG	TORRE DO PINHÃO	661	1/1/1932	76	Ativa	12
06M/01G	VILA CHÃ (ALIJÓ)	770	1/1/1932	78	Ativa	12
05L/01UG	VILA POUCA DE AGUIAR	843	10/1/1912	46	Ativa	13

No que diz respeito às estações da bacia do Távora, 5 de 17, não estão classificadas com o índice de qualidade. As restantes apresentam índices de qualidade superiores a 12, com a exceção de Celorico da Beira (11), Codeceiro (8) e Ervedosa (Pinhel) (7) (Quadro 4.4).

Os dados diários deverão corresponder a um conjunto de estações que permitem uma cobertura do território em estudo, de modo a possibilitar a interpolação espacial de dados pluviométricos. Deste modo, atendendo aos dados disponíveis para o estudo das precipitações diária, mensal e anual, foram selecionadas estações pluviométricas, que compreendem dados diários entre os anos hidrológicos de 1913/14 a 2010/11. Os registos de precipitação foram estruturados por anos hidrológicos, a partir de 1 de outubro e término a 30 de setembro,



como é geralmente definido nas regiões do Sul da Europa (Santos & Fragoso, 2013). As séries diárias foram acumuladas em registos mensais e posteriormente em registos de precipitação anual.

Quadro 4.4. Qualidade das séries anuais das estações estudadas para a bacia do rio Távora.

Código	Nome	Altitude (m)	Entrada em Funcionamento	Anos com dados diários	Estado	Índice de Qualidade
09L/01UG	AGUIAR DA BEIRA	776	9/1/1931	79	Ativa	13
08L/04U	ARIZ	807	5/20/1944	42	Extinta	12
10M/01G	CELORICO DA BEIRA	448	4/1/1942	67	Ativa	11
10N/01UG	CODECEIRO	814	2/14/1957	53	Ativa	8
08N/03G	ERVEDOSA (PINHEL)	506	8/14/1956	44	Não instalada (a automatizar)	7
06N/03UG	FONTE LONGA	800	10/1/1932	29	Ativa	12
09L/02UG	FORNINHOS	498	9/1/1980	32	Ativa	-
09O/02UG	FREIXEDAS	693	10/1/1956	45	Não instalada (a automatizar)	12
07N/05UG	FREIXO DE NUMÃO	563	2/1/1982	26	Ativa	-
08L/03UG	LEOMIL	704	12/1/1932	64	Ativa	13
08N/02G	MARIALVA	558	6/21/1960	41	Ativa	15
08M/01UG	PENEDONO	957	12/1/1932	64	Não instalada (a automatizar)	13
09O/01G	PINHEL	606	10/1/1931	67	Ativa	15
09M/02U	TRANCOSO	853	10/1/1932	53	Extinta	12
07L/10UG	VALE DE FIGUEIRA	754	10/1/1982	27	Ativa	-
09K/02UG	QUEIRIGA	685	10/1/1980	30	Ativa	-
08L/07UG	QUINTA DA FUMADINHA	803	10/1/1980	24	Ativa	-

A distribuição espacial das estações é condicionada pelos dados disponíveis. Na bacia do Vez as estações estão bem distribuídas, sendo que cinco situam-se dentro da bacia e as restantes 21 localizam-se nas áreas envolventes da bacia (Figura 4.1). A estação mais afastada é Portela de Homem que se localiza no concelho Terras do Bouro, a cerca de 20 km da área da bacia do rio Vez.

Na bacia do rio Este, apenas se localizam três estações meteorológicas. As restantes treze encontram-se distribuídas pelas áreas envolventes, nomeadamente nos sectores norte e sul da bacia. De salientar que a estação mais distanciada da bacia encontra-se a cerca de 15 km (em linha reta) (Figura 4.2).

Das estações seleccionadas para o estudo da bacia do Corgo, apenas uma estação se localiza dentro da bacia. Contudo, a distribuição das restantes estações não permite a cobertura do sector Sul da área envolvente da bacia. A estação mais afastada (Loureiro) localiza-se a cerca de 30km da bacia hidrográfica (Figura 4.3).

Para a bacia do Távora foram seleccionadas 17 estações meteorológicas. A sua distribuição espacial mostra-nos que apenas uma estação se encontra dentro bacia e as restantes estão distribuídas pelas áreas envolventes da mesma. De salientar que no sector norte da bacia não foi seleccionada nenhuma estação. A estação mais afastada bacia é Pinhel que se encontra a menos de 25 km (Figura 4.4).

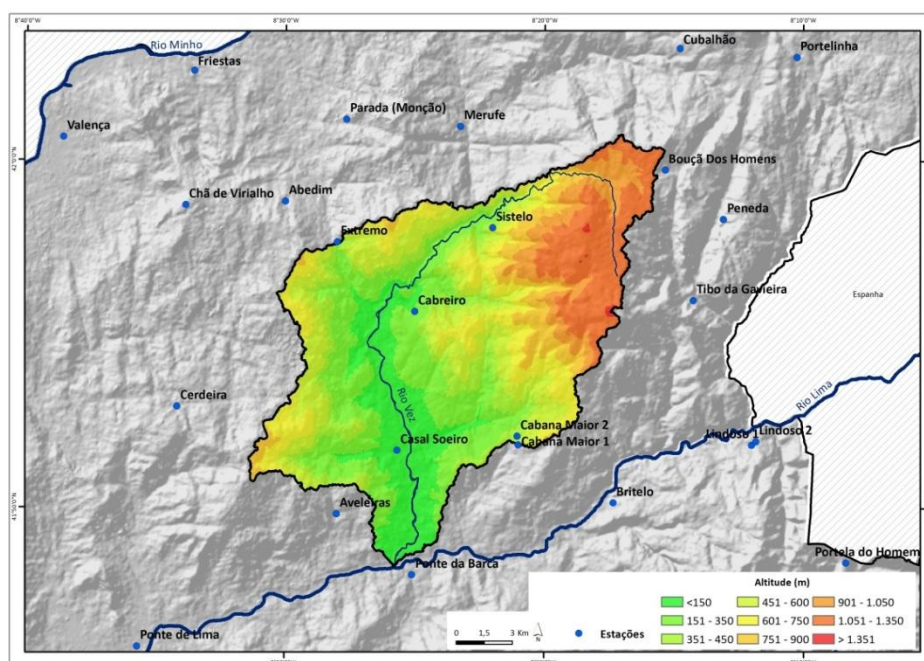


Figura 4.1. Localização das estações selecionadas na bacia do Vez.

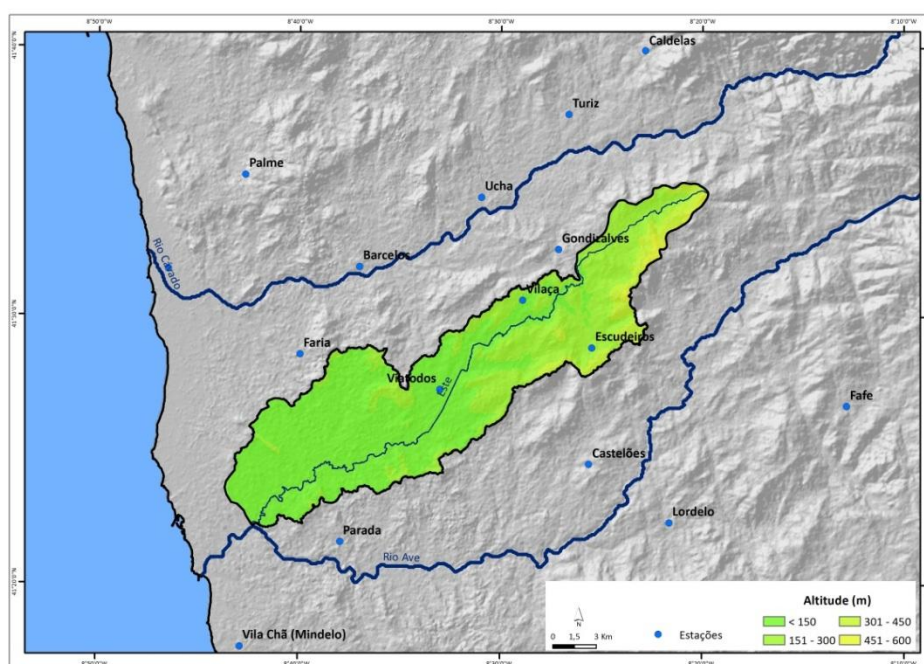


Figura 4.2. Localização das estações selecionadas na bacia do Este.

Os dados de precipitação horária, disponíveis no SNIRH, referem-se às estações automáticas, ou seja, estações com um funcionamento automático, sem necessidade de proximidade humana e que permitem a recolha de informação em intervalos de tempo que podem ir até ao minuto. No entanto, a rede meteorológica automática só começou a ser instalada a partir de

2001, sendo que nas áreas em estudo, a maioria começou a funcionar em 2003. Das 76 estações, 19 têm dados horários, sendo que sete são na área de estudo da bacia do rio Vez, dez na bacia do rio Távora e duas na bacia do rio Este.

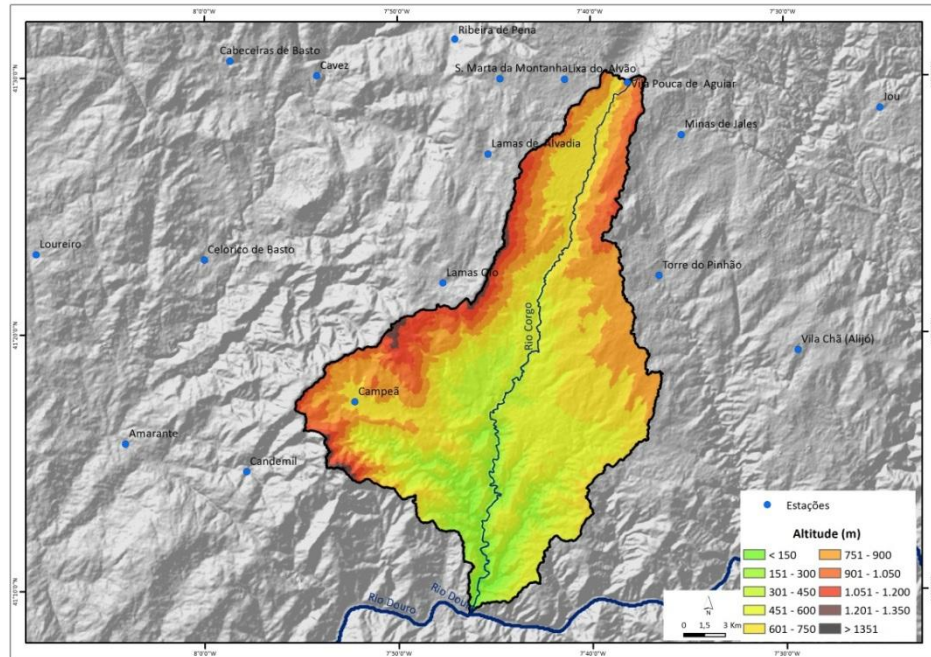


Figura 4.3. Localização das estações selecionadas na bacia do Corgo.

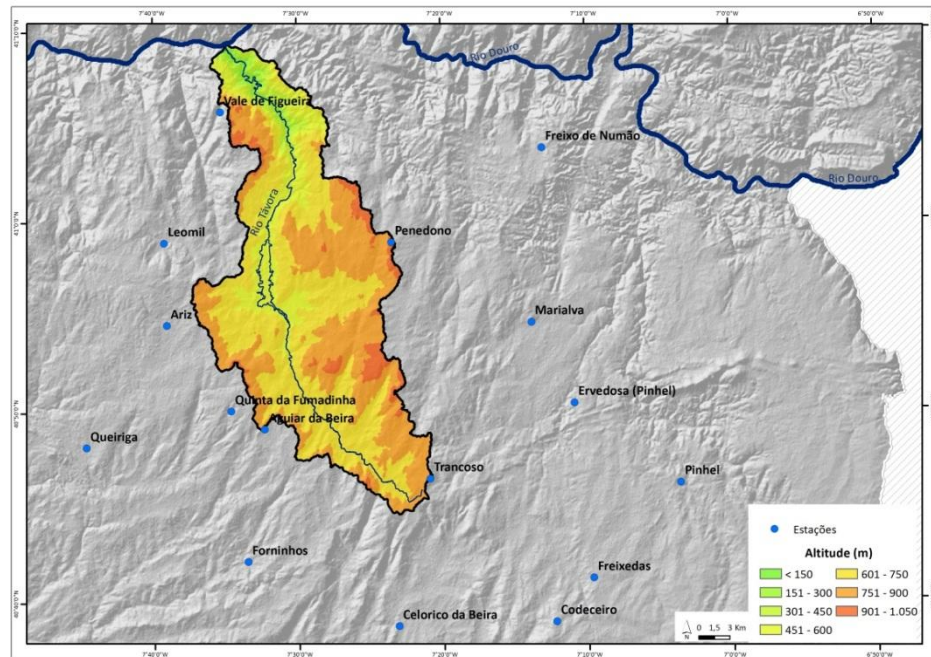


Figura 4.4. Localização das estações selecionadas na bacia do Távora.



## 4.2. Testes de homogeneidade e consistência da informação pluviométrica

Uma série climática, nas suas práticas de observação pode ser afetada por uma variedade de fatores (Aguilar *et al.*, 2003). Heterogeneidades nos dados podem ser causadas por alterações nos instrumentos, mudanças que afetam sua exposição, mudanças no ambiente circundante e diferenças na observação de práticas e procedimentos de gravação. Todos estes fatores podem levar a uma má interpretação da evolução climática (Aguilar *et al.*, 2003; Peterson *et al.*, 1998). A maioria das estações apresenta falhas nos seus registos. Deve realçar-se que não é adequado, com os meios disponíveis proceder aos preenchimentos destas falhas nas séries, devido à complexidade na estimação espacial de quantitativos de precipitação de 24 horas (Fragoso, 2003). Assim, os testes de homogeneidade são essenciais para avaliar a qualidade dos dados climáticos antes de iniciar qualquer tipo de análise de variabilidade temporal. Deste modo, a metodologia adotada seguiu os seguintes procedimentos: recolha de metadados, verificação e quantificação de dados em falta e por fim a realização de quatro testes de homogeneidade absoluta e relativa. Para os metadados das 76 estações pluviométricas foram recolhidas informações sobre a localização geográfica, altitude, tipo de estação (sinóptica, aeronáutico, agro-meteorológico, etc.), tipos de instrumentos (não disponível para todas as séries) e início e data de encerramento da estação (se verificado). Informações sobre outros fatores relevantes, como por exemplo, mudanças no ambiente local e exposição do instrumento, são muito escassos ou inexistentes, o que representa uma limitação à interpretação de eventuais heterogeneidades. O próximo passo na avaliação da qualidade dos dados foi a verificação e quantificação de dados em falta. Procedeu-se à seleção das séries cujas falhas correspondiam a menos de 10% de lacunas nos registos de dados de precipitação diária. As potenciais heterogeneidades foram identificadas, utilizando o número de dias com precipitação, um procedimento descrito em Aguilar *et al.* (2003) e que foi aplicado em trabalhos recentes como por exemplo, Santos e Fragoso (2013), Costa e Soares (2009), Durão *et al.* (2010) e Wijngaard *et al.* (2003). De acordo com Wijngaard *et al.* (2003), a contagem dos dias húmidos têm uma menor variabilidade do que os montantes anuais, particularmente em áreas com uma grande contribuição de precipitação convectiva. *“Como resultado, a falta de homogeneidade é mais fácil de detetar em séries de contagem dos dias húmidos do que em séries com os montantes anuais”* (Wijngaard *et al.*, 2003, p. 682).

No presente estudo, um dia de chuva é definido como um dia com precipitação igual ou superior a 1 mm. A inclusão de dias com precipitação inferior a 1 mm é desaconselhável, pois

poderia levar a heterogeneidades devidas unicamente a erros de medição de quantidades muito baixas de precipitação e até de orvalho (Wijngaard *et al.*, 2003). Foram então aplicados quatro testes de homogeneidade absoluta: Pettit (Pettit, 1979) (P), Standard Normal Homogeneity Test (SNHT) (Alexandersson, 1986), Buishand (Buishand, 1982) (B) e Von Neumann ratio test (VN) (Von Neumann, 1941). Desta forma, os dados são homogêneos se o valor de prova (valor-p ou *p-value*) calculado for maior que o nível de significância  $\alpha=0,05$ . No entanto se o valor de prova calculado for menor que o nível de significância  $\alpha=0,05$ , deve-se rejeitar a hipótese nula, em favor da hipótese alternativa, revelando heterogeneidade dos dados. O uso combinado de quatro testes de homogeneidade tem como objetivo, obter resultados mais confiáveis, como afirma (Begert *et al.*, 2005). Todos os testes partem do pressuposto como hipótese nula de que os elementos das séries são independentes e identicamente distribuídos. Para os três primeiros testes, a hipótese alternativa leva a aceitar a existência de quebras de série, permitindo assim detetar quando estas quebras ocorrem. A hipótese alternativa para VN estabelece um percentual de significância para a falta de aleatoriedade da série (Martínez *et al.*, 2010). O teste SNHT deteta mais facilmente descontinuidades no início e no final da série, enquanto os testes de Pettit e de Buishand são mais eficazes a detetar inomogeneidades no meio das séries. O VN estima a aleatoriedade da série, mas não é capaz de detetar pontos de ruptura (Martínez *et al.*, 2010).

O teste de Pettit é um teste não paramétrico cuja formulação é baseada no número de ordem correspondente à ordenação crescente dos valores da série. As fileiras  $R_1, \dots, R_n$  do  $Y_1, \dots, Y_n$  são utilizados para calcular as estatísticas:

$$X_k = 2 \sum_{i=1}^k r_i - k(n+1) \quad k = 1, \dots, n$$

Equação 4.1

Se uma rutura ocorre no ano  $E$ , em seguida, a estatística é máxima ou mínima, perto do ano  $k = E$  (Wijngaard *et al.*, 2003):

$$X_E = \max_{l \leq k \leq n} |X_k|$$

Equação 4.2

O teste *SNHT* descreve uma estatística  $t(k)$  para comparar a média dos primeiros anos de  $k$  com a dos últimos anos ( $n-k$ ):

$$T(k) = k\bar{z}_1^2 + (n - k)\bar{z}_2^2 \quad k = 1, \dots, n$$

Equação 4.3

Em que:

$$\bar{z}_1 = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y})/s \quad \text{and} \quad \bar{z}_2 = \frac{1}{n - k} \sum_{i=k+1}^n (Y_i - \bar{Y})/s$$

Equação 4.4

Se ocorrer uma quebra no ano K, T (k) atinge o valor máximo perto do ano k = K (Alexandersson, 1986; Wijngaard *et al.*, 2003). No teste de Buishand, as somas parciais ajustadas são definidas como:

$$S_0^* = 0 \quad \text{and} \quad S_k^* = \sum_{i=1}^k (Y_i - \bar{Y}) \quad k = 1, \dots, n$$

Equação 4.5

Quando uma série é homogênea os valores de  $S_k^*$  oscilam em torno de zero. Se uma quebra está presente no ano K, então  $S_k^*$  atinge o máximo (desvio negativo) ou mínimo (desvio positivo) próximo do ano k = K (Wijngaard *et al.*, 2003).

No teste de VN, N é definido como a relação entre a diferença da média quadrática sucessiva (ano a ano) para a variância (Von Neumann, 1941; Wijngaard *et al.*, 2003):

$$N = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (Y_i - Y_{i+1})^2}{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}$$

Equação 4.6

Estes testes de homogeneidade foram realizados no *software XLSTAT* utilizado em estudos anteriores (Bartolini *et al.*, 2008; Grauso *et al.*, 2010). Os resultados foram classificados, segundo o critério proposto por Wijngaard *et al.* (2003) e aplicado também por Santos e Fragoso (2013) e Costa e Soares (2009). Desta forma, as séries foram agrupadas em 3 classes com um nível de significância de 5%:

Classe 1 – “Útil”: quando uma série é considerada homogênea em todos os testes;

Classe 2 – “Potencialmente Útil”: quando um ou dois testes rejeitam a série;

Classe 3 – “Rejeitada”: quando nos três ou nos quatro testes é detetada heterogeneidade e a hipótese nula é rejeitada.

Para concluir a metodologia de avaliação da qualidade das séries, foram aplicados testes de homogeneidade relativa, através de séries de referência, como recomendado por Aguilar *et al.* (2003). O objetivo é comparar os dados da estação candidata (série a testar) com uma série de referência, através do cálculo de rácios (Aguilar *et al.*, 2003). Foram selecionadas como estações de referência, as estações que não apresentavam falhas nos registos (> 10%) e que foram dadas como homogéneas, nos quatro testes de homogeneidade absoluta. De seguida, foi escolhida para cada série candidata, a série de referência com o valor de correlação mais elevado.

#### 4.2.1. Bacia do rio Vez

Os resultados dos testes de homogeneidade absoluta para a Bacia do Vez dizem-nos que 10 estações reprovaram em três ou quatro testes. Em condição oposta, 11 estações (Abedim, Aveleiras, Britelo, Casal Soeiro, Cerdeira, Extremo, Leonte, Peneda, Ponte de Lima, Portelinha e Tibo da Gavieira) foram consideradas homogéneas nos quatro testes aplicados (Quadro 4.5).

Quadro 4.5. Resultados dos testes de homogeneidade absoluta e classificação das séries para as estações da bacia do rio Vez.

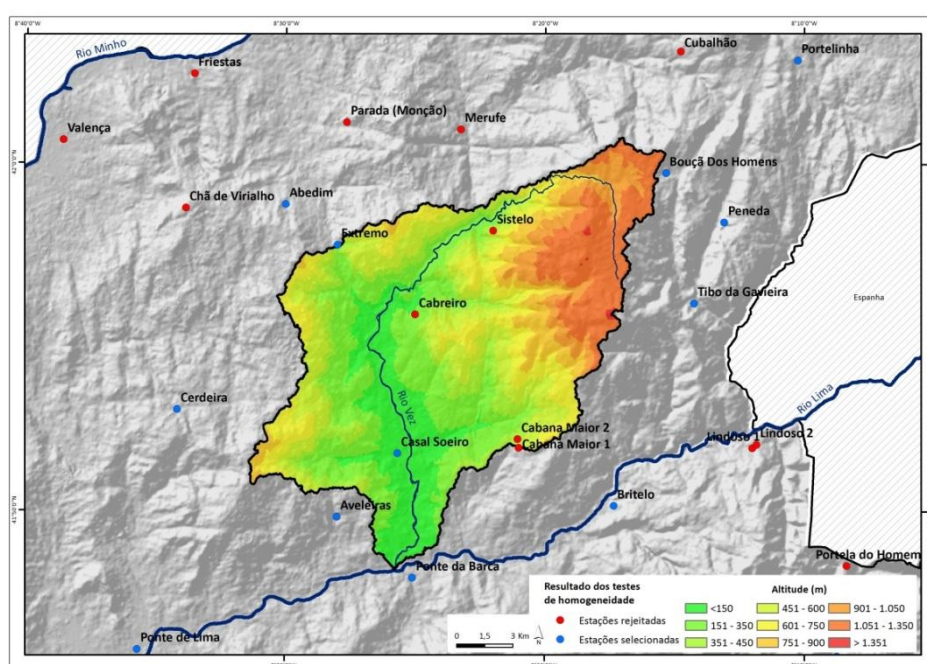
Estações	Resultado	Classificação
Abedim	Homogénea	Útil
Aveleiras	Homogénea	Útil
Bouça dos Homens	VN	Potencialmente Útil
Britelo	Homogénea	Útil
Cabana Maior	P (1958); SNHT (1999); B (1958); VN	Rejeitada
Cabreiro	P (2001); SNHT (2001); B (2001)	Rejeitada
Casal Soeiro	Homogénea	Útil
Cerdeira	Homogénea	Útil
Chã do Virialho	P (2001); SNHT (2001); B (2001); VN	Rejeitada
Cubalhão	P (1998); SNHT (2001); B (2001); VN	Rejeitada
Extremo	Homogénea	Útil
Friestas	P (2001); SNHT (2001); B (2001); VN (2001)	Rejeitada
Leonte	Homogénea	Útil
Lindoso	P (1961); SNHT (1961); B (1961); VN	Rejeitada
Merufe	SNHT (2001); B (2001)	Potencialmente Útil
Parada	P (2001); SNHT (2001); B (2001)	Rejeitada
Peneda	Homogénea	Útil
Ponte da Barca	VN	Potencialmente Útil
Ponte de Lima	Homogénea	Útil
Portela do Homem	P (1988); SNHT (1994); B (1988); VN	Rejeitada
Portelinha	Homogénea	Útil
Sistelo	P (1998); SNHT (1998); B (1998); VN	Rejeitada
Tibo da Gavieira	Homogénea	Útil
Valença	SNHT (2002); B (2002); VN	Rejeitada
Vila Nova de Cerveira	P (2001); B (2001)	Potencialmente Útil



De seguida, foram aplicados os testes de homogeneidade relativa às estações consideradas úteis e potencialmente úteis. Os resultados, presentes no Quadro 4.6, indicam-nos que apenas na estação de Merufe foram detetadas quebras que provocaram a rejeição da série nos quatro testes efetuados. Deste modo, depois de efetuados os testes de homogeneidade absoluta e relativa, das 26 previamente escolhidas, foram aprovadas 14 séries de precipitação para este trabalho. Apesar de doze estações serem rejeitadas, a localização das estações selecionadas é satisfatória, uma vez que toda a bacia do Vez é abrangida (Figura 4.5).

*Quadro 4.6. Resultados dos testes de homogeneidade relativa e classificação das séries para as estações da bacia do rio Vez.*

Estações	Resultado	Classificação
Abedim	SNHT (1932); VN	Potencialmente Útil
Aveleiras	Homogénea	Útil
Bouça dos Homens	VN	Potencialmente Útil
Britelo	B (1952); VN	Potencialmente Útil
Casal Soeiro	Homogénea	Útil
Cerdeira	B (1987)	Potencialmente Útil
Extremo	Homogénea	Útil
Leonte	Homogénea	Útil
Merufe	P (1991); SNHT (2001); B (1991); VN	Rejeitada
Peneda	SNHT (2001); VN	Potencialmente Útil
Ponte da Barca	SNHT (1999); VN	Potencialmente Útil
Ponte de Lima	Homogénea	Útil
Portelinha	Homogénea	Útil
Tibo da Gavieira	P (1956); VN	Potencialmente Útil
Vila Nova de Cerveira	Homogénea	Útil



*Figura 4.5. Localização das estações selecionadas e rejeitadas pelos testes de homogeneidade absoluta e relativa para a bacia do Vez.*

#### 4.2.2. Bacia do rio Este

Das estações selecionadas na área envolvente da bacia do rio Este, em dez foram detetadas inhomogeneidades que levaram à rejeição por parte de três ou quatro testes de homogeneidade aplicados. Os anos de 2000 e 2001 registam a maioria das quebras, em resultado das muitas falhas de dados em muitas estações. As estações de Barcelos, Caldelas, Fafe e Viatodos foram consideradas homogéneas nos quatro testes utilizados (Quadro 4.7). Os testes de homogeneidade relativa validaram os resultados dos testes de homogeneidade absoluta, sendo selecionadas seis estações para a bacia do rio Este: Barcelos, Caldelas, Fafe, Faria, Parada e Viatodos (Quadro 4.8).

*Quadro 4.7. Resultados dos testes de homogeneidade absoluta e classificação das séries para as estações da bacia do rio Este.*

Estações	Resultado	Classificação
<b>Barcelos</b>	Homogénea	Útil
<b>Caldelas</b>	Homogénea	Útil
<b>Castelões</b>	P (2001); SNHT (2001); B (2001); VN	Rejeitada
<b>Escudeiros</b>	P (2000); SNHT (2001); B (2000)	Rejeitada
<b>Esposende</b>	P (2001); SNHT (2001); B (2001); VN	Rejeitada
<b>Fafe</b>	Homogénea	Útil
<b>Faria</b>	VN	Potencialmente Útil
<b>Gondizalves</b>	P (2000); SNHT (2000); B (2000); VN	Rejeitada
<b>Lordelo</b>	P (2002); SNHT (2002); B (2002); VN	Rejeitada
<b>Palme</b>	P (2001); SNHT (2001); B (2001); VN	Rejeitada
<b>Parada</b>	SNHT (2001); B (2001)	Potencialmente Útil
<b>Turiz</b>	P (2001); SNHT (2002); B (2001); VN	Rejeitada
<b>Ucha</b>	SNHT (2001); B (2001); VN	Rejeitada
<b>Viatodos</b>	Homogénea	Útil
<b>Vila Chã</b>	P (1998); SNHT (2001); B (2001)	Rejeitada
<b>Vilaça</b>	P (2001); SNHT (2001); B (2001); VN	Rejeitada

Apesar de só terem sido aprovadas seis estações pelos testes de homogeneidade, a sua localização está bem distribuída pela área envolvente da bacia, destacando-se a estação de Viatodos, que se situa dentro da bacia hidrográfica do rio Este, na secção média (Figura 4.6).

Quadro 4.8. Resultados dos testes de homogeneidade relativa e classificação das séries para as estações da bacia do rio Este.

Estações	Resultado	Classificação
Barcelos	Homogénea	Útil
Caldelas	Homogénea	Útil
Fafe	Homogénea	Útil
Faria	VN	Potencialmente Útil
Parada	Homogénea	Útil
Viatodos	Homogénea	Útil

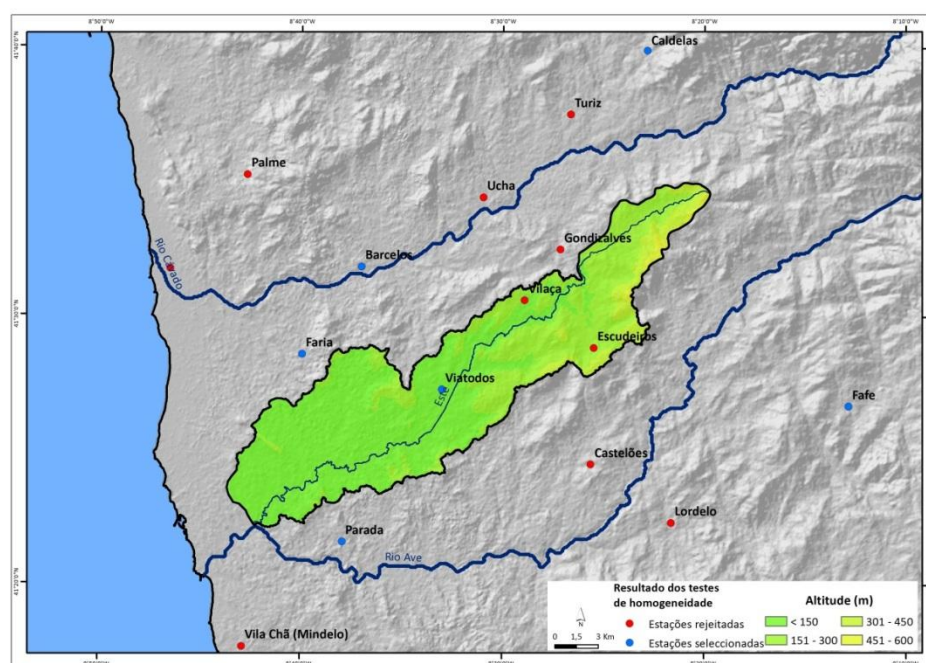


Figura 4.6. Localização das estações selecionadas e rejeitadas pelos testes de homogeneidade absoluta e relativa para a bacia do Este.

#### 4.2.3. Bacia do rio Corgo

Das estações analisadas para a área envolvente da bacia do Corgo, sete (Campeã, Jou, Lixa do Alvão, Minas de Jales, Ribeira de Pena, Torre do Pinhão e Lamas de Olo) foram consideradas homogéneas nos quatro testes de homogeneidade absoluta (Quadro 4.9). Pelo contrário, em três estações – Candemil, Vila Chã e Loureiro – foram detetadas heterogeneidades, o que levou à rejeição das séries de precipitação. Os testes de homogeneidade relativa mostraram heterogeneidades em mais três estações (Cabeceiras de Basto, Minas de Jales e Vila Pouco de Aguiar) (Quadro 4.10). Dos testes de homogeneidade absoluta e relativa, resultou a seleção de onze estações para a bacia do rio Corgo.

*Quadro 4.9. Resultados dos testes de homogeneidade absoluta e classificação das séries para as estações da bacia do rio Corgo.*

Estações	Resultado	Classificação
Amarante	SNHT (1932)	Potencialmente Útil
Cabeceiras de Basto	VN	Potencialmente Útil
Campeã	Homogénea	Útil
Candemil	P (1978); SNHT (1979); B (1978); VN	Rejeitada
Cavez	SNHT (1932); VN	Potencialmente Útil
Celorico de Basto	VN	Potencialmente Útil
Jou	Homogénea	Útil
Lamas da Alvalia	VN	Potencialmente Útil
Lixa do Alvão	Homogénea	Útil
Minas de Jales	Homogénea	Útil
Ribeira de Pena	Homogénea	Útil
Santa Marta da Montanha	VN	Potencialmente Útil
Torre do Pinhão	Homogénea	Útil
Vila Chã	SNHT (1998); B (2001); VN	Rejeitada
Vila Pouca de Aguiar	SNHT (2001); B (2001)	Potencialmente Útil
Lamas de Olo	Homogénea	Útil
Loureiro	P (1999); SNHT (1999); B (1999); VN	Rejeitada

*Quadro 4.10. Resultados dos testes de homogeneidade relativa e classificação das séries para as estações da bacia do rio Corgo.*

Estações	Resultado	Classificação
Amarante	SNHT (1932); VN	Potencialmente Útil
Cabeceiras de Basto	P (1954); SNHT (1932); VN	Rejeitada
Campeã	Homogénea	Útil
Cavez	SNHT (1932); VN	Potencialmente Útil
Celorico de Basto	VN	Potencialmente Útil
Jou	Homogénea	Útil
Lamas da Alvalia	Homogénea	Útil
Lamas de Olo	Homogénea	Útil
Lixa do Alvão	Homogénea	Útil
Minas de Jales	P (1993); B (1994); VN	Rejeitada
Ribeira de Pena	Homogénea	Útil
Santa Marta da Montanha	Homogénea	Útil
Torre do Pinhão	Homogénea	Útil
Vila Pouca de Aguiar	P (1992); B (1992); VN	Rejeitada

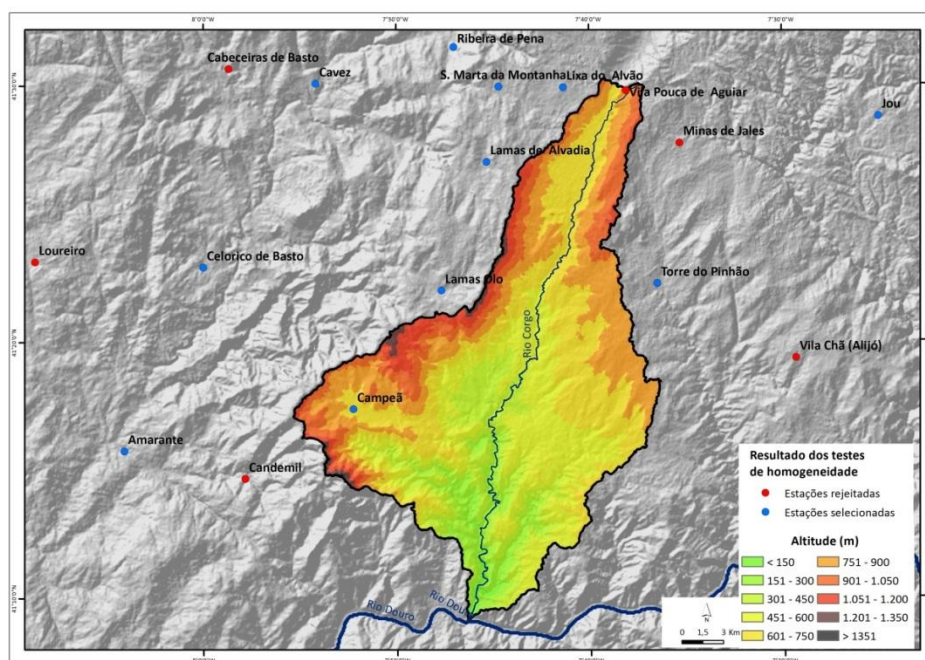


Figura 4.7. Localização das estações selecionadas e rejeitadas pelos testes de homogeneidade absoluta e relativa para a bacia do rio Corgo

#### 4.2.4. Bacia do rio Távora

Os testes de homogeneidade absoluta realizados às estações na área envolvente da bacia do Távora rejeitaram oito estações. Das restantes, apenas as séries de Marialva e Pinhel foram consideradas homogéneas em todos os testes (Quadro 4.11). As séries de Aguiar da Beira, Ariz, Celorico da Beira, Ervedosa, Leomil, Quinta da Fumadinha e Vale Figueira foram consideradas potencialmente úteis, reprovando apenas em um ou dois testes de homogeneidade absoluta. Os testes de homogeneidade relativa aplicados às séries classificadas como úteis e potencialmente úteis rejeitaram a série de Vale Figueira (Quadro 4.12). Na Figura 4.8 está patente a localização das estações que foram rejeitadas e selecionadas após terem sido efetuados os testes de homogeneidade.

*Quadro 4.11. Resultados dos testes de homogeneidade absoluta e classificação das séries para as estações da bacia do rio Távora.*

Estações	Resultado	Classificação
<b>Aguiar da Beira</b>	SNHT (2009)	Potencialmente Útil
<b>Ariz</b>	SNHT (1944); VN	Potencialmente Útil
<b>Celorico da Beira</b>	B (1979)	Potencialmente Útil
<b>Codeceiro</b>	P (1988); SNHT (1990); B (1991); VN	Rejeitada
<b>Ervedosa</b>	P (1982)	Potencialmente Útil
<b>Fonte Longa</b>	P (1998); SNHT (1998); B (1998); VN	Rejeitada
<b>Forninhos</b>	P (1996); B (1996); VN	Rejeitada
<b>Freixedas</b>	P (1979); B (1979); VN	Rejeitada
<b>Leomil</b>	VN	Potencialmente Útil
<b>Marialva</b>	Homogénea	Útil
<b>Penedono</b>	P (1958); SNHT (1959); B (1958); VN	Rejeitada
<b>Pinhel</b>	Homogénea	Útil
<b>Queiriga</b>	P (1996); SNHT (1996); B (1996); VN	Rejeitada
<b>Quinta da Fumadinha</b>	VN	Potencialmente Útil
<b>Trancoso</b>	P (1958); SNHT (1959); B (1959); VN	Rejeitada
<b>Vale Figueira</b>	SNHT (2007)	Potencialmente Útil
<b>Freixo Numão</b>	P (2001); SNHT (2004); B (2003)	Rejeitada

*Quadro 4.12. Resultados dos testes de homogeneidade relativa e classificação das séries para as estações da bacia do rio Távora.*

Estações	Resultado	Classificação
<b>Aguiar da Beira</b>	P (1982); B (1982)	Potencialmente Útil
<b>Ariz</b>	SNHT (1979); VN	Potencialmente Útil
<b>Celorico da Beira</b>	P (1982); B (1982)	Potencialmente Útil
<b>Ervedosa</b>	Homogénea	Útil
<b>Leomil</b>	Homogénea	Útil
<b>Marialva</b>	SNHT (1979)	Potencialmente Útil
<b>Pinhel</b>	VN	Potencialmente Útil
<b>Quinta da Fumadinha</b>	VN	Potencialmente Útil
<b>Vale Figueira</b>	P (1997); SNHT (2007); VN	Rejeitada

Deste modo, neste trabalho serão utilizadas 14 séries de precipitação para a bacia do rio Vez, 6 para a bacia do Este, 11 para a bacia do rio Corgo e 8 para a bacia do Távora.



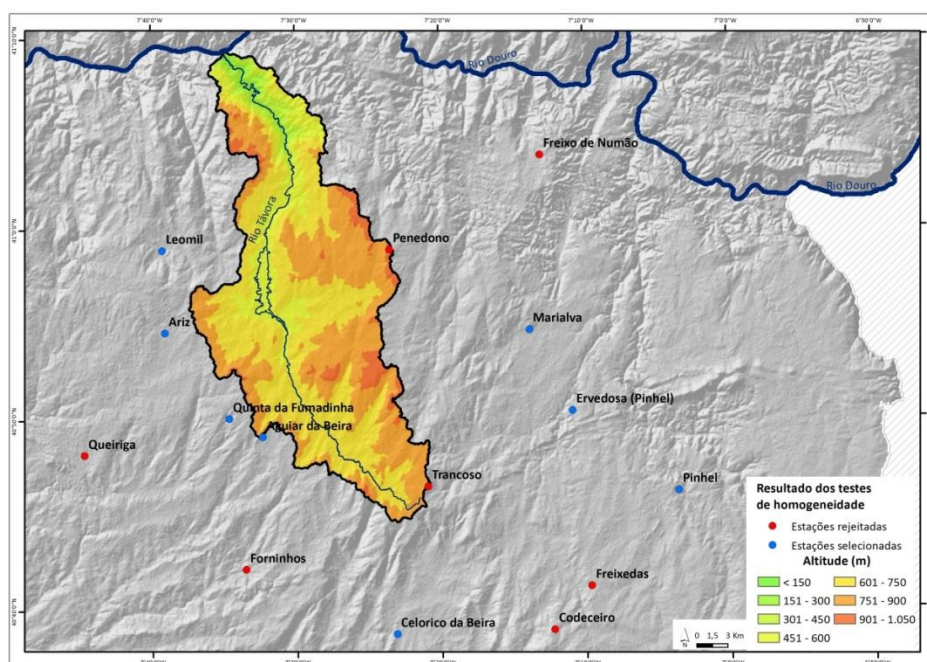


Figura 4.8. Localização das estações selecionadas e rejeitadas pelos testes de homogeneidade absoluta e relativa para a bacia do Távora.

#### 4.2.5. Região Norte

Para a análise de enquadramento da região Norte, foram também selecionadas várias estações meteorológicas com dados diários de precipitação, entre 1960/61 e 2000/01. Foram selecionadas estações que não apresentam falhas de dados superiores a 10% do total dos dados e que se localizam em áreas não abrangidas pelas bacias hidrográficas em estudo (Figura 4.9). De todas as estações selecionadas, apenas em 3 (Campo de Víboras, Celas e Gestosa) não está atribuído o índice de qualidade. As restantes estações tem uma classificação superior a 12, ou seja, as séries anuais apresentam uma grande fiabilidade (Quadro 4.13).

Os resultados dos testes de homogeneidade absoluta indicam que as estações de Almeida, Macedo de Cavaleiros e Penafiel reprovaram em três dos quatro testes e por isso serão rejeitadas desta análise (Quadro 4.14). Das restantes estações, 16 foram consideradas homogêneas em todos os testes aplicados de homogeneidade absoluta.

Os testes de homogeneidade relativa aplicados às estações que foram consideradas úteis e potencialmente úteis depois de efetuados os testes de homogeneidade absoluta conduziram à rejeição de seis estações meteorológicas: Cerejais, Cervos, Chacim, Gralhós, Morais e Vinhais. As restantes foram consideradas úteis para este trabalho (Quadro 4.15).



Quadro 4.13. Qualidade das séries anuais das estações selecionadas para a região Norte.

Código	Nome	Altitude (m)	Entrada em Funcionamento	Estado	Índice de Qualidade
09P/02UG	<b>Almeida</b>	742	01-03-1933	Ativa	15
04S/01UG	<b>Avelanoso</b>	713	01-01-1932	Ativa	12
08G/01C	<b>Barragem Castelo Burgães</b>	306	01-10-1937	Ativa	14
04I/02UG	<b>Brancelhe</b>	379	01-12-1931	Ativa	12
04R/03UG	<b>Campo de Víboras</b>	654	01-01-1932	Ativa	-
03P/01UG	<b>Celas</b>	905	01-01-1932	Ativa	-
06P/01G	<b>Cerejais</b>	441	13-02-1957	Ativa	15
03K/05UG	<b>Cervos</b>	842	01-05-1946	Ativa	13
05P/01UG	<b>Chacim</b>	551	01-10-1932	Ativa	14
03M/01G	<b>Chaves</b>	350	01-12-1931	Ativa	15
02R/02G	<b>Deilão</b>	892	01-01-1932	Ativa	15
08P/02G	<b>Escalhão</b>	615	01-10-1936	Ativa	15
08F/02UG	<b>Espargo (Feira)</b>	70	01-12-1932	Ativa	15
06N/01C	<b>Folgares</b>	739	01-10-1945	Ativa	15
05S/01UG	<b>Fonte da Aldeia</b>	716	01-01-1932	Ativa	13
10E/03UG	<b>Gafanha da Nazaré</b>	17	10-01-1949	Ativa	15
02O/01UG	<b>Gestosa</b>	706	01-01-1932	Ativa	-
03K/02UG	<b>Gralhós</b>	910	01-03-1944	Ativa	15
04P/06UG	<b>Macedo de Cavaleiros</b>	551	01-10-1912	Ativa	13
08J/02G	<b>Mezio (Paiva)</b>	611	01-10-1943	Ativa	12
02P/01C	<b>Moimenta da Raia</b>	837	01-01-1932	Ativa	15
06O/04UG	<b>Moncorvo</b>	595	01-10-1877	Ativa	12
05Q/01UG	<b>Morais</b>	626	01-10-1932	Ativa	14
03J/02UG	<b>Outeiro</b>	845	01-06-1934	Ativa	14
06H/01UG	<b>Penafiel</b>	175	01-10-1913	Ativa	15
03N/02UG	<b>Tinhela</b>	592	01-01-1932	Ativa	13
03N/01G	<b>Travancas</b>	884	01-09-1913	Ativa	15
02O/02UG	<b>Vinhais</b>	636	01-10-1912	Ativa	15

Quase todas as estações que foram rejeitadas pelos testes de homogeneidade relativa localizam-se na bacia do rio Douro, exceto a estação de Gralhós que se localiza na bacia do rio Cávado. As estações de Gralhós e Cervos localizam-se no concelho de Montalegre e as estações de Moraes, Macedo de Cavaleiros, Chacim e Cerejais localizam-se no vale da Vilariça nos concelhos de Macedo de Cavaleiros e Alfandega da Fé. A estação de Almeida, que foi rejeitada nos testes de homogeneidade absoluta localiza-se no distrito da Guarda e fora da região Norte. Na Figura 4.10 encontram-se visíveis as estações a utilizar neste trabalho no âmbito da análise para a região Norte. No total são 44 estações, com dados diários de 1960/61 a 2000/01. Na bacia do rio Douro encontram-se 22 estações, enquanto na bacia do Lima localizam-se 8 estações. Nas restantes principais bacias da região Norte localizam-se menos estações: 4 estações na bacia do Cávado, 3 na bacia do Ave e 2 na bacia do rio Minho. Fora da

região, mas importante para a análise espacial encontram-se 2 estações na bacia do Mondego e 3 na bacia do rio Vouga (Figura 4.10).

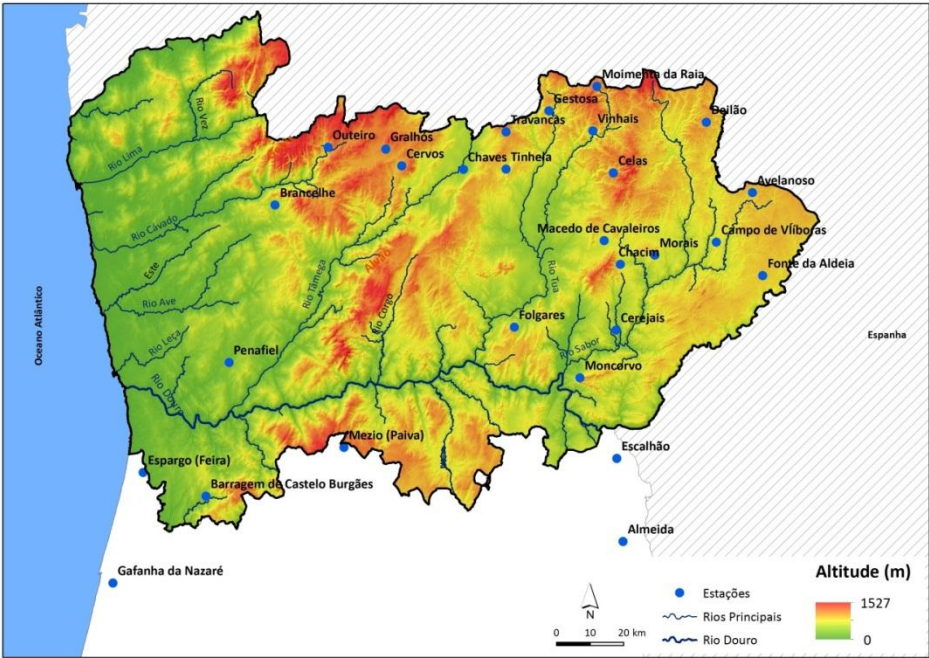


Figura 4.9. Localização das estações na região Norte.

Quadro 4.14. Resultados dos testes de homogeneidade absoluta e classificação das séries para as estações da região Norte.

Estações	Resultado	Classificação
Almeida	SNHT (2001); P (1984)VN	Rejeitada
Avelanoso	VN	Potencialmente Útil
Barragem Castelo Burgães	Homogénea	Útil
Brancelhe	Homogénea	Útil
Campo de Vitoras	VN	Potencialmente Útil
Celas	Homogénea	Útil
Cerejais	SNHT (2001)	Potencialmente Útil
Cervos	Homogénea	Útil
Chacim	P (1988)	Potencialmente Útil
Chaves	Homogénea	Útil
Deilão	Homogénea	Útil
Escalhão	Homogénea	Útil
Espargo (Feira)	Homogénea	Útil
Folgares	SNHT (2001)	Potencialmente Útil
Fonte da Aldeia	Homogénea	Útil
Gafanha da Nazaré	SNHT (2001)	Potencialmente Útil
Gestosa	Homogénea	Útil
Gralhós	Homogénea	Útil
Macedo de Cavaleiros	SNHT (1963),P (1995),VN	Rejeitada
Mezio (Paiva)	Homogénea	Útil
Moimenta da Raia	Homogénea	Útil
Moncorvo	Homogénea	Útil
Morais	SNHT (2001)	Potencialmente Útil
Outeiro	Homogénea	Útil
Penafiel	P (1979); SNHT (1984); VN	Rejeitada
Tinhela	VN	Potencialmente Útil
Travancas	Homogénea	Útil
Vinhais	VN	Potencialmente Útil

Quadro 4.15. Resultados dos testes de homogeneidade relativa e classificação das séries para as estações da região Norte.

Estações	Resultado	Classificação
Avelanoso	Homogénea	Útil
Barragem Castelo Burgães	Homogénea	Útil
Brancelhe	Homogénea	Útil
Campo de Vóboras	Homogénea	Útil
Celas	Homogénea	Útil
Cerejais	SNHT (1997),P (1980),VN	Rejeitada
Cervos	SNHT (1982),P (1982),VN	Rejeitada
Chacim	SNHT (1962),P (1970),VN	Rejeitada
Chaves	Homogénea	Útil
Deilão	Homogénea	Útil
Escalhão	Homogénea	Útil
Espargo (Feira)	Homogénea	Útil
Folgares	Homogénea	Útil
Fonte da Aldeia	Homogénea	Útil
Gafanha da Nazaré	Homogénea	Útil
Gestosa	Homogénea	Útil
Gralhós	SNHT (1964),P (1982),VN	Rejeitada
Mezio (Paiva)	Homogénea	Útil
Moimenta da Raia	Homogénea	Útil
Moncorvo	Homogénea	Útil
Morais	SNHT (1972),P (1970),VN	Rejeitada
Outeiro	Homogénea	Útil
Tinhela	Homogénea	Útil
Travancas	Homogénea	Útil
Vinhais	SNHT (1985),P (1985),VN	Rejeitada

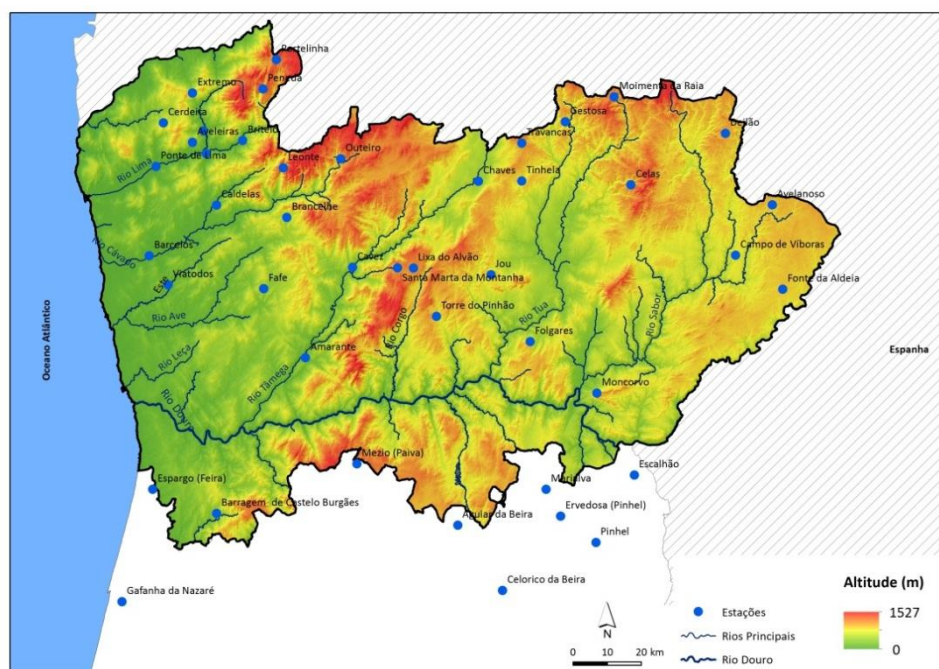


Figura 4.10. Localização de todas as estações meteorológicas utilizadas.

Os dados horários disponíveis apresentam uma grande irregularidade quanto ao período de dados disponível. Assim, a maioria das estações têm dados a partir de 2003 e terminam em 2010 (Quadro 4.16). Para além do período temporal ser relativamente pequeno, também os dados apresentam muitas falhas. Desta forma, os dados horários não serão utilizados neste trabalho.

Quadro 4.16. Período de dados com precipitação horária disponível das séries em estudo.

Código	Nome	Início	Fim
09L/01UG	Aguiar da Beira	04-09-2001 15:00	31-12-2009 10:00
06I/01G	Amarante	14-03-2006 19:00	08-04-2010 23:00
04S/01UG	Avelanoso	28-02-2003 11:00	08-01-2010 10:00
02G/11UG	Aveleiras	01-06-2006 02:00	10-02-2010 11:00
04F/01C	Barcelos	27-02-2003 14:00	10-10-2011 23:00
08G/01C	Barragem Castelo Burgães	06-12-1999 14:00	22-12-2013 01:00
04I/02UG	Brancelhe	01-04-2003 10:00	10-02-2010 09:00
02H/07UG	Britelo	01-06-2003 02:00	10-02-2010 15:00
03G/04UG	Caldelas	01-06-2006 02:00	31-03-2009 17:00
04R/03UG	Campo de Vóboras	28-02-2003 12:00	08-01-2010 12:00
02G/09G	Casal Soeiro	16-05-2002 10:00	16-11-2013 00:00
04J/04UG	Cavez	11-05-2006 11:00	19-06-2008 17:00
03P/01UG	Celas	25-02-2003 12:00	02-06-2008 16:00
05I/01UG	Celorico da Beira	01-10-2001 10:00	30-12-2009 10:00
02F/02G	Cerdeira	01-09-2006 02:00	04-02-2010 15:00
03M/01G	Chaves	13-05-2003 18:00	22-01-2010 14:00
02R/02G	Deilão	25-02-2003 20:00	30-12-2014 01:00
08N/03G	Ervedosa	Sem dados	
08P/02G	Escalhão	09-10-2001 14:00	05-04-2014 11:00
08F/02UG	Espargo (Feira)	25-02-2002 20:00	06-12-2006 15:00
02G/03G	Extremo	01-06-2003 02:00	26-08-2010 23:00
05H/01UC	Fafe	29-05-2003 08:00	03-12-2003 11:00
06N/01C	Folgares	19-03-2003 15:00	30-12-2014 23:00
05S/01UG	Fonte da Aldeia	15-04-2003 09:00	07-01-2010 09:00
10E/03UG	Gafanha da Nazaré	01-02-2002 02:00	08-01-2010 16:00
02O/01UG	Gestosa	01-10-2003 02:00	15-01-2010 11:00
05M/01UG	Jou	18-03-2003 12:00	29-04-2008 15:00
03I/03UG	Leonte	03-04-2003 10:00	11-12-2003 10:00
04K/03UG	Lixa do Alvão	22-04-2003 10:00	30-12-2014 23:00
08N/02G	Marialva	30-10-2003 13:00	18-02-2009 13:00
08J/02G	Mezio (Paiva)	27-02-2002 17:00	25-08-2007 04:00
02P/01C	Moimenta da Raia	22-04-2003 12:00	02-03-2010 09:00
06O/04UG	Moncorvo	08-08-2006 16:00	22-12-2009 12:00
03J/02UG	Outeiro	15-05-2003 16:00	07-09-2010 10:00
02H/03UG	Peneda	01-06-2003 02:00	10-02-2010 13:00
09O/01G	Pinhel	30-10-2001 15:00	30-12-2014 00:00
03G/02C	Ponte da Barca	14-11-2001 18:00	30-12-2014 23:00
03F/01G	Ponte de Lima	21-01-2003 10:00	30-12-2014 23:00
01H/02G	Portelinha	13-03-2003 18:00	26-11-2014 00:00
04K/02G	Santa Marta da Montanha	20-05-2003 16:00	11-12-2014 00:00
03N/02UG	Tinhela	23-04-2003 17:00	21-05-2008 11:00
05L/03UG	Torre do Pinhão	17-03-2003 18:00	12-01-2010 11:00
03N/01G	Travancas	23-04-2003 14:00	27-12-2014 01:00
05F/01UG	Viatodos	01-05-2003 02:00	11-06-2008 16:00

### 4.3. Aquisição e estruturação da informação hidrométrica

As estações hidrométricas recolhem registos relativos a caudais e a escoamentos.

O SNIRH disponibiliza dados de 228 estações hidrométricas espalhadas pelo país. No entanto, os dados na sua maioria não são recentes e apresentam muitas falhas. Nas bacias de estudo apenas encontramos cinco estações: Pontilhão de Celeiros na bacia hidrográfica do rio Vez; Ponte Junqueira na baixa do rio Este; Ermida na bacia do rio Corgo e por fim, Moinho da Ponte Nova e Quinta Rape na bacia hidrográfica do rio Távora (Quadro 4.17).

A estação hidrométrica de Ermida tem o período mais longo de dados diários, de 1956/57 a 2005/2006. As estações nas bacias em estudo apresentam dados de caudal médio diário, caudal instantâneo máximo anual, escoamento mensal, nível médio diário e nível instantâneo máximo anual.

Na Figura 4.11 é possível observar a localização das estações hidrométricas, nas bacias em estudo. A estação de Pontilhão de Celeiros situa-se a cerca de 8,4 km da foz do rio Vez. A estação de Ponte Junqueira localizada na freguesia de Junqueira em Vila do Conde, situando-se a cerca de 3,6 km da foz do rio Este. Já a estação hidrométrica de Ermida, localiza-se a cerca de 6,9 km da foz do rio Corgo. Na bacia do rio Távora, a estação de Quinta Rape situa-se a cerca de 44 km da foz, enquanto a estação de Moinho da Ponte Nova situa-se a cerca de 22 km. Os dados diários depois de estruturados foram analisados, eliminando-se períodos longos sem dados. Foi o caso, por exemplo da série de Moinho Ponte Nova, com dados desde 1947/1948. No entanto, entre 1952/53 e 1973/74, só existem dados disponíveis para os anos hidrológicos de 1963/64 e 1967/68. Deste modo, decidiu-se abdicar desta informação, de forma a não existirem falhas longas dos dados, que poderiam provocar heterogeneidades na série de caudal médio diário.

Quadro 4.17. Estações Hidrométricas na bacia de estudo.

Código	Nome	Altitude (m)	Rio	Área Drenada (km²)	Início	Fim	Anos com dados diários	Estado
06K/01H	ERMIDA CORGO	138	Rio Corgo	294.22	1956/57	2005/06	50	Activa(EDP)
07L/01H	MOINHO DA PONTE NOVA	452	Rio Távora	439.92	1974/75	2005/06	32	Activa (EDP)
05E/01H	PONTE JUNQUEIRA	44	Rio Este	233.88	1977/78	2000/01	24	Não instalada (a automatizar)
02G/01H	PONTILHÃO DE CELEIROS	44	Rio Vez	170.8	1959/60	1989/90	31	Activa
08L/01H	QUINTA RAPE	577	Rio Távora	171.55	1976/77	2005/06	30	Activa(EDP)



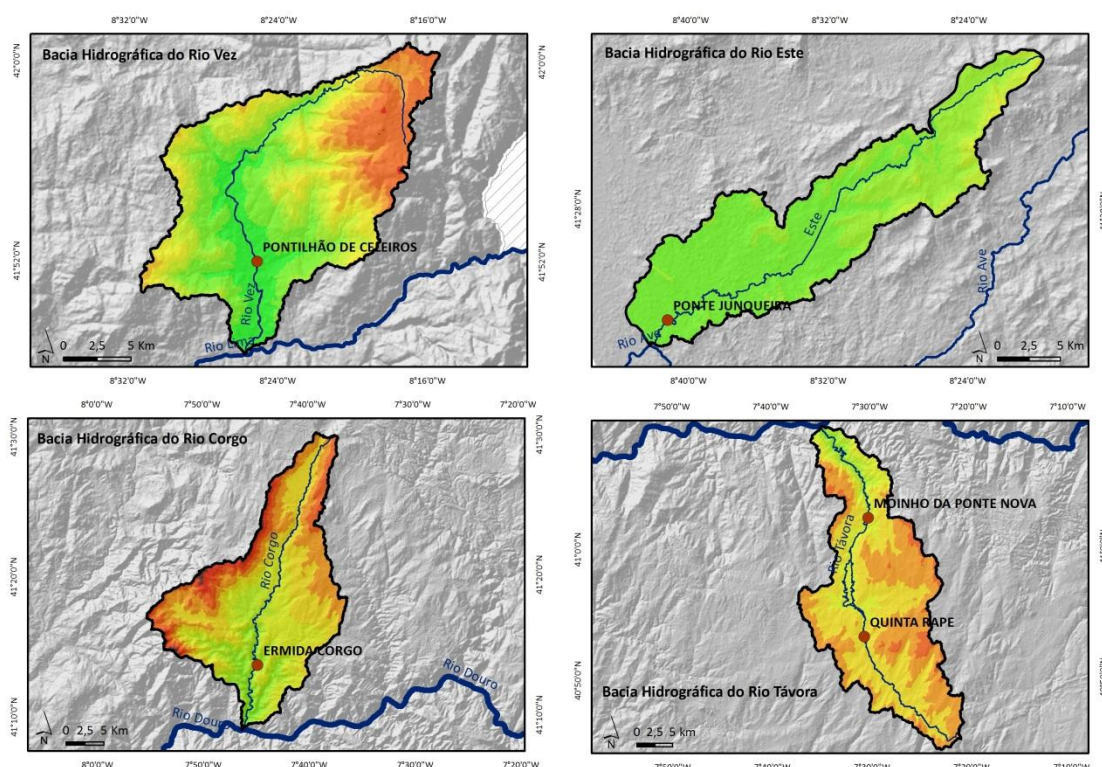


Figura 4.11. Localização das estações hidrométricas nas bacias em estudo.

#### 4.4. Testes de homogeneidade e consistência de dados hidrométricos

Os dados hidrométricos foram também submetidos aos testes de homogeneidade, depois de verificada a consistência. Assim, aos dados extraíram-se os valores de caudais máximos anuais, como realizado por Bormann *et al.* (2011) e aplicaram-se os testes de homogeneidade de Pettit (Pettit, 1979), SNHT (Alexandersson, 1986), Buishand (Buishand, 1982) e VN (Von Neumann, 1941).

Os resultados mostraram que todas as séries foram consideradas homogêneas nos quatro testes aplicados e por isso, todas foram consideradas úteis para este trabalho.

Quadro 4.18. Resultados dos testes de homogeneidade e classificação das séries de caudal das bacias em estudo.

Estações	Resultado	Classificação
Pontilhão de Celeiros	Homogénea	Útil
Moinho Ponte Nova	Homogénea	Útil
Ponte Junqueira	Homogénea	Útil
Ermida Corgo	Homogénea	Útil
Quinta Rape	Homogénea	Útil



Não foram aplicados os testes de homogeneidade relativa, uma vez que é necessária uma série de referência e apenas para a bacia do rio Távora possuíamos duas séries na mesma bacia hidrográfica.

#### **4.5. Conclusão**

Este trabalho está muito limitado aos dados disponíveis, quer de dados pluviométricos quer de dados hidrométricos. De ressaltar que os períodos de dados são diferentes de estação para estação e de bacia para bacia. Depois de analisadas as estações e efetuados os testes de homogeneidade, foram selecionadas 14 estações meteorológicas para a bacia do Vez, 6 para a bacia do rio Este, 11 para a bacia do rio Corgo e 8 para a bacia do rio Távora. Das estações hidrométricas existentes, foram selecionados uma estação para cada bacia, com a exceção da bacia do rio Távora, onde foram escolhidas duas estações.

## Parte II – Análise estatística e espacial das precipitações e caracterização dos regimes hidrológicos

### Capítulo 5. Metodologias de tratamento da informação pluviométrica e hidrométrica

#### 5.1. Precipitações anuais e mensais

A análise da precipitação anual e mensal compreendeu o período de 1960/61 a 2000/01. A escolha deste período está relacionada com dois fatores: 1) escolha de um período mínimo de 30 anos, necessário para sustentar uma análise climatológica das precipitações; 2) período mais longo que se enquadrava com o maior número de estações com dados diários, para a área em estudo. Deste modo, será apresentada a análise em primeiro lugar relativa à região Norte e, de seguida, uma análise dedicada às bacias em estudo. As estações em análise nas bacias em estudo localizam-se na sua maioria nas áreas envolventes às bacias, como vimos no capítulo 3. No caso da bacia do rio Távora foram utilizadas na análise, cinco estações que não pertencem à região Norte, uma vez que parte da bacia pertence à região Centro.

Foram determinados parâmetros estatísticos como média, mediana, desvio padrão, valores máximos e mínimos, calculados no *Microsoft Excel*. Calculou-se também o coeficiente de variação, em percentagem. O coeficiente de variação (cv%) é a razão entre o desvio padrão e a média. É interpretado como a variabilidade dos dados em relação à média (García, 1996), isto é, quanto menor o coeficiente de variação, mais homogêneo é o conjunto de dados. O coeficiente de variação é traduzido na seguinte expressão (Brown, 1998):

$$cv\% = 100\sigma/\bar{x}$$

Equação 5.1

Em que  $\sigma$  é o desvio padrão e  $\bar{x}$  é a média.

Os resultados apresentados para a análise da precipitação mensal estão por mês do ano e também agrupados por estações do ano, seguindo as definições adotadas internacionalmente em termos climatológicos, em que o inverno abarca os meses de dezembro, janeiro e fevereiro

(DJF), a primavera inclui março, abril e maio (MAM), o verão abrange junho, julho e agosto (JJA) e o outono inclui setembro, outubro e novembro (SON) (IPMA & AEM, 2011).

A avaliação de tendências nas séries anuais e sazonais realizou-se através do teste não paramétrico de Mann-Kendall (Kendall, 1976). Este teste é o mais apropriado para analisar mudanças em dados climáticos (Goossens & Berger, 1986). No teste de Mann-Kendall, a hipótese nula (H0) assume que a sequência de valores ocorre de forma independente e que a distribuição da probabilidade permanece sempre a mesma (número aleatório simples). A hipótese alternativa (H1) assume que os dados são distribuídos de acordo com uma tendência crescente ou decrescente (Gallego *et al.*, 2011; Santos & Fragoso, 2013). O teste estatístico  $t$  é dado pela seguinte fórmula:

$$t = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n (sgn[X_j] - X_i)$$

Equação 5.2

Em que:

$sgn(X)$  é a função de sinal. Pode apresentar valores iguais a -1, 0 ou 1, dependendo se o argumento é, respetivamente, negativo, zero ou positivo. A variação de  $t$  sob a hipótese nula é obtida através de:

$$var(t) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18}$$

Equação 5.3

A distribuição exata de  $t$  pode ser calculada e, para  $n \geq 10$ , que se aproxima de uma distribuição normal, aplica-se a correção  $t' = t - sgn(t)$ . Se se considera a variável normalizada:

$$Z = \frac{t}{\sqrt{var(t)}}$$

Equação 5.4

Então  $Z$  é normalmente distribuído com uma média de 0 e uma variação de 1 (Gallego *et al.*, 2011). A tendência estatisticamente significativa é avaliada utilizando o valor de  $Z$ . Um valor positivo de  $Z$  indica uma tendência ascendente e um valor negativo de  $Z$  mostra uma tendência negativa (Santos & Fragoso, 2013). Para estimar a magnitude das tendências, foi utilizado o

algoritmo inicialmente proposto por Sen (1968). O declive de Sen está relacionado com a inclinação da tendência encontrada no teste de Mann-Kendall. É definido como:

$$B = \text{median} \frac{X_i - X_j}{t_i - t_j}$$

*Equação 5.5*

Em que  $X_i$  and  $X_j$  são valores de dados em momentos  $t_i$  and  $t_j$  ( $i > j$ ), respetivamente.

O declive calculado pelo estimador do Sen é uma estimativa fiável da magnitude de uma tendência (Yue *et al.*, 2002), e tem sido amplamente utilizado na identificação da inclinação da linha de tendência em séries temporais (e.g. Burns *et al.*, 2007; Jhajharia *et al.*, 2012; Martinez *et al.*, 2012; Santos & Fragoso, 2013; Shifteh Some'e *et al.*, 2012). O teste foi calculado para um nível de significância de 5% e utilizou-se o programa *Makesens 1.0* (desenvolvido pelo Instituto Meteorológico da Finlândia) (Salmi *et al.*, 2002) para realizar as estimativas.

## 5.2. Precipitação diária e máxima diária

A análise das séries de precipitação diária e máxima diária compreenderam também o período de 1960/61 a 2000/01. Foram realizados cálculos estatísticos, como média, mediana, desvio padrão, coeficiente de variação, valores máximos e mínimos. A amostra estudada limitou-se aos dias com precipitação significativa, ou seja, dias em que a precipitação é superior ou igual a 1 mm devido à possível falta de qualidade das observações nos dias em que ocorre precipitação inferior a 1 mm, com exceção da abordagem particular do índice apresentado em seguida. O cálculo do índice de concentração diária (CI) de precipitação pretende quantificar a irregularidade pluviométrica à escala diária e avaliar o carácter mais ou menos torrencial das precipitações (Benhamrouche *et al.*, 2015; Cortesi *et al.*, 2012; Li *et al.*, 2011; Martín-Vide, 2004; Sánchez-Lorenzo & Martín-Vide, 2006). Calculou-se o CI anual e sazonal. A concentração da precipitação pode contribuir para a erosão dos solos ou para o desencadeamento de situações de risco como a ocorrência de inundações urbanas, cheias rápidas ou movimentos de vertente (Martín-Vide, 2004; Sánchez-Lorenzo & Martín-Vide, 2006). Segundo Martín-Vide (2004) a frequência de dias muito chuvosos é reduzida comparativamente à frequência de dias com os mais baixos quantitativos de precipitação, no entanto, aqueles dias podem ser decisivos para o balanço hídrico. O cálculo do CI é muito sensível à qualidade dos dados.

Benhamrouche & Martín Vide (2012) referem que não se deve dispensar as menores quantidades de precipitação (décimos de mm) no cálculo do CI. Deste modo, o método consiste em agregar a precipitação diária em categorias crescentes (1 por 1 mm) (Cortesi *et al.*, 2012) (0,1 – 0,9 mm; 1 mm – 1,9mm; 2 -2,9 mm, etc.), para determinar o impacto das diferentes classes de precipitação diária e, sobretudo, para avaliar o contributo relativo dos dias mais chuvosos para os totais de precipitação. De seguida, é necessário relacionar as percentagens acumuladas de precipitação  $Y$  e as percentagens acumuladas dos dias  $X$ , em que as mesmas ocorreram:

$$Y = aX \exp(bX)$$

*Equação 5.6*

As constantes  $a$  e  $b$  podem calcular-se pelos mínimos quadrados:

$$\ln a = \frac{\sum X_i^2 \sum \ln Y_i + \sum X_i \sum X_i \ln X_i - \sum X_i^2 \sum \ln X_i - \sum X_i \sum X_i \ln Y_i}{N \sum X_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

*Equação 5.7*

$$b = \frac{N \sum X_i \ln Y_i + \sum X_i - N \sum X_i \ln X_i - \sum X_i \sum \ln Y_i}{N \sum x_i^2 - (\sum X_i)^2}$$

*Equação 5.8*

Uma vez determinadas as constantes, a integral definida da curva exponencial ente 0 e 100 dá a superfície compreendida entre a curva, o eixo das abcissas e ordenada a 100 o que equivale a:

$$S = \left[ \frac{a}{b} e^{bx} \left( x - \frac{1}{b} \right) \right]_0^{100}$$

*Equação 5.9*

Assim, quanto maior o afastamento à linha de equi-distribuição, maior a irregularidade e a concentração diária da precipitação. A concentração diária é proporcional à área compreendida entre a curva teórica e a reta de equi-distribuição (Sánchez-Lorenzo & Martín-Vide, 2006):

$$CI = 2 S' / 5000$$

*Equação 5.10*

As estações com os valores mais elevados indicam concentrações mais elevadas de precipitação diária, ou seja, quanto maior for o CI, mais peso têm os poucos dias muito chuvosos no total pluviométrico (Benhamrouche & Martín Vide, 2012). No cálculo do CI foram usados os dados com precipitação inferior a 1 mm, como sugere a metodologia apresentada por Benhamrouche and Martín Vide (2012). No entanto foram retiradas da análise as estações cujo histograma de frequência apresentou irregularidades. Foi o caso das estações de Campo de Víboras, Cerdeira, Ervedosa, Escalhão, Folgares, Marialva, Mezio (Paiva), Moimenta da Raia, Pinhel, Peneda, Ponte da Barca e Torre do Pinhão. Como exemplo, podemos analisar a frequência das estações de Campo de Víboras e Ervedosa (Figura 5.1). É possível observar um deficiente registo da precipitação muito fraca (0,1 a 0,9 mm) na estação de Campo de Víboras e um excesso de representação desta classe na estação de Ervedosa, constituindo mesmo a classe com maior número de dias. Deste modo, foram utilizadas no cálculo desse parâmetro apenas 28 estações.

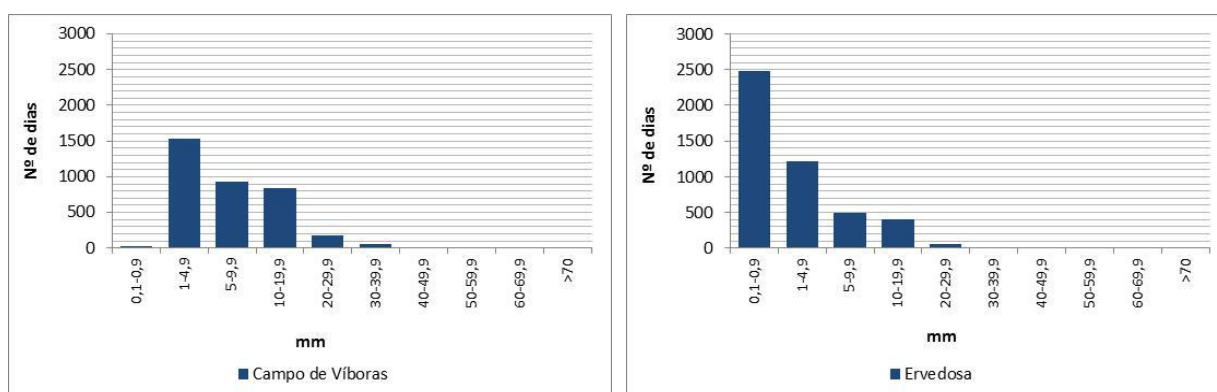


Figura 5.1. Composição por classes (intervalos em mm) dos dias de precipitação registados em Campo de Víboras e Ervedosa.

Neste trabalho foram também calculados índices de extremos definidos internacionalmente, por um grupo de especialistas: (CCI/CLIVAR/JCOMM Expert Team (ET) on Climate Change Detection and Indices, ETCCDI), com base na precipitação diária (<http://etccdi.pacificclimate.org/indices.shtml>). Estes índices foram aplicados, em estudos de variabilidade climática, globalmente (Alexander *et al.*, 2006) ou em diferentes partes do globo, como por exemplo: América (Aguilar *et al.*, 2005; Booth *et al.*, 2012), China (Fan *et al.*, 2012; Wong *et al.*, 2011), Coreia (Jung *et al.*, 2011) ou na Europa (Brunet *et al.*, 2007; Moberg & Jones, 2005; Norrant & Douguédroit, 2006; Zolina *et al.*, 2008). Neste trabalho, foram calculados nove índices de extremos, presentes no Quadro 5.1.



Quadro 5.1. Índices de extremos calculados.

ID	Nome do Indicador	Definição	Unidade
Rx1day	Máximo de precipitação diária	Quantidade de precipitação máxima em 1 dia	mm
Rx5day	Máximo de precipitação em 5 dias	Quantidade de precipitação máxima em 5 dias	mm
SDII	Índice simples de intensidade diária	Precipitação anual total dividida pelo número de dias húmidos ( $P \geq 1\text{mm}$ ) em um ano	mm/dia
R10	Número de dias com precipitação intensa	Número de dias no ano em que $P \geq 10\text{ mm}$	dias
R20	Número de dias com precipitação muito intensa	Número de dias no ano em que $P \geq 20\text{ mm}$	dias
R50	Número de dias com precipitação extrema	Número de dias no ano em que $P \geq 50\text{ mm}$	dias
CWD	Dias húmidos consecutivos	Máximo número de dias consecutivo com $P \geq 1\text{ mm}$	dias
R95p	Dias muito húmidos	Precipitação superior ao percentil 95	mm
R99p	Dias extremamente húmidos	Precipitação superior ao percentil 99	mm

O índice *Rx1day* refere-se à quantidade de precipitação máxima em 1 dia.  $RR_{ij}$  é o total de precipitação diária no dia  $i$  no período  $j$ . Os valores máximos de um dia, para o período  $j$  são:

$$Rx1day = \max(RR_{ij})$$

Equação 5.11

O índice *Rx5day* pretende aferir a quantidade de precipitação máxima em 5 dias ( $RR_{kj}$ ), sendo então:

$$Rx5day = \max(RR_{kj})$$

Equação 5.12

O indicador *SDII*, ou seja, índice simples de intensidade diária, calcula-se da seguinte forma:

$$SDII_j = \frac{\sum_{w=1}^W RR_{wJ}}{W}$$

Equação 5.13

Em que  $RR_{wj}$  é a quantidade diária de precipitação nos dias húmidos, no período  $j$ . E  $W$  representa o número de dias húmidos.

O índice *R10* pretende calcular o número de dias com precipitação  $\geq 10\text{ mm}$ :

$$RR_{ij} \geq 10\text{ mm}$$

Equação 5.14

Sendo  $RR_{ij}$  a quantidade diária da precipitação no dia  $i$  no período  $j$ .

O índice  $R20$  refere-se ao número de dias com precipitação  $\geq 20$  mm, contando-se o número de dias em que:

$$RR_{ij} \geq 20mm$$

*Equação 5.15*

O parâmetro  $R50$  pretende apurar o número de dias com precipitação extrema superior a 50 mm, sendo  $RR_{ij}$  a quantidade diária da precipitação no dia  $i$  no período  $j$ .

$$RR_{ij} \geq 50mm$$

*Equação 5.16*

O parâmetro  $CWD$  calcula-se contando-se o maior número de dias consecutivos com precipitação  $\geq 1$  mm:

$$RR_{ij} \geq 1mm$$

*Equação 5.17*

O indicador  $R95p$ , dias muito húmidos, calcula-se da seguinte forma:

$$R95_{pj} = \sum_{w=1}^w RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn}95$$

*Equação 5.18*

Em que  $RR_{wj}$  é a quantidade diária de precipitação num dia húmido no período  $j$ ;  $RR_{wn}95$  é o percentil 95 da precipitação em dias húmidos e  $W$  representa o número de dias húmidos durante o período de estudo.

Por último, o índice  $R99p$ , isto é, dias extremamente húmidos calcula-se assim:

$$R99_{pj} = \sum_{w=1}^w RR_{wj} \text{ where } RR_{wj} > RR_{wn}99$$

*Equação 5.19*

Sendo  $RR_{wj}$  a quantidade diária de precipitação num dia húmido no período  $j$ ;  $RR_{wn}99$  é o percentil 99 da precipitação em dias húmidos e  $W$  o número de dias muito húmidos durante o período de estudo (Zhang & Yang, 2004).

### 5.3. Cálculo do período de retorno

O período de retorno “pode ser definido como o número de anos que decorre, em média, para que um dado valor de um fenómeno seja igualado ou ultrapassado” (Fragoso, 2003, p. 44). Assim, a excecionalidade de um episódio chuvoso pode ser avaliado estimando o período de retorno para o quantitativo de precipitação registado. Segundo (Brandão, 1995) as situações com precipitação extrema são geralmente modeladas pela distribuição de *Gumbel* (Gumbel, 1958). A distribuição teórica de probabilidade de excedência de valores extremos de *Gumbel* é a mais utilizada na determinação de períodos de retorno de precipitações extremas (Brooks & Carruthers, 1953; Wilks, 2011).

Em primeiro lugar, calculamos a probabilidade empírica de ocorrência de cada um dos valores da série, que de acordo com *Gumbel* é dada pela seguinte equação:

$$P = \left( \frac{m}{N} + 1 \right) * 100$$

Equação 5.20

Em que  $m$  representa o número de posição das respetivas observações e  $N$  o total de registos.

O período de retorno pode ser expresso pela equação:

$$T = \frac{1}{1 - \left( \frac{m}{N} + 1 \right)}$$

Equação 5.21

O traçado da reta teórica de correlação necessária ao cálculo do período de retorno implica a redução da variável da probabilidade empírica (Gumbel, 1958), em que  $\ln$  representa o logaritmo natural:

$$\gamma = -\ln \left( -\ln \frac{m}{(N + 1)} \right)$$

Equação 5.22

De seguida são determinados para os  $N$  valores da variável reduzida, a média ( $Mx$ ) e o desvio padrão ( $Sx$ ), bem como a média ( $My$ ) e o desvio padrão ( $Sy$ ) da variável ( $y$ ), correspondente à reta teórica expressa:

$$\gamma = \alpha(X - \mu)$$

Equação 5.23

Sendo que  $y$  representa o valor da variável reduzida e  $x$  é o valor da precipitação. O método dos mínimos quadrados de *Gumbel* permite determinar os parâmetros  $\alpha$  e  $\mu$  a partir das seguintes relações:

$$\frac{1}{\alpha} = Sx/Sy$$

Equação 5.24

$$\mu = Mx - My/\alpha$$

Equação 5.25

A probabilidade de não excedência de um determinado valor de precipitação ( $x$ ), ou seja, a probabilidade desse valor não ser ultrapassado é dado pela equação:

$$P(x) = e^{-e^{-y}}$$

Equação 5.26

Pelo contrário, a probabilidade de excedência de um determinado valor de precipitação, ou seja, a probabilidade desse valor ser ultrapassado é dado pela equação:

$$P(x) = 1 - e^{-e^{-y}}$$

Equação 5.27

O período de retorno ( $Tr$ ), em anos, de um determinado valor de precipitação ( $x_i$ ) é expresso:

$$Tr = \frac{1}{1 - e^{-e^{-y}}}$$

Equação 5.28

Para detetar a qualidade de ajustamento da distribuição de *Gumbel*, às séries de dados foram aplicados três testes aos dados de precipitação acumulada máxima para diferentes durações (1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 40, 60, 75, 90 dias): teste de Kolmogorov-Smirnov, teste Anderson-Darling e o teste do Qui-Quadrado, no programa *EasyFit 5.5*.

A estatística do teste de Kolmogorov-Smirnov (Kolmogorov, 1956; Smirnov, 1939) tem como base a diferença máxima entre as funções de probabilidades acumuladas, empírica e teórica, de variáveis aleatórias contínuas (Naghettini & Pinto, 2007). O teste de Anderson-Darling (Anderson & Darling, 1954) procura ponderar mais fortemente os extremos das distribuições,

nas quais, as maiores ou as menores observações da amostra podem alterar a qualidade do ajustamento (Naghettini & Pinto, 2007).

Quadro 5.2. Estações aceites ou rejeitadas pelos testes (1 - Teste Kolmogorov-Smirnov; 2 - Teste Anderson Darling; 3 - Teste Qui-Quadrado) aplicados aos dados de precipitação acumulada para diferentes durações.

	1dia	2 dias	3 dias	4 dias	5 dias	10dias	15 dias	30 dias	40 dias	60 dias	75 dias	90dias
Aguiar da Beira	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Amarante	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Avelanoso	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Aveleiras	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Barcelos	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
B. Castelo Burgães	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Brancelhe	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Britelo	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Caldelas	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Campo de Vóboras	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Casal Soeiro	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	3	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Cavez	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Celas	Aceite	Aceite	Aceite	3	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	3
Celorico da Beira	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Cerdeira	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Chaves	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Deilão	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Ervedosa	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Escalhão	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Espargo (Feira)	1,3	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Extremo	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Fafe	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	3	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Folgares	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	3	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Fonte da Aldeia	3	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
G. Nazaré	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Gestosa	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Jou	Aceite	3	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	3	Aceite
Leonte	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Lixa do Alvão	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Marialva	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Mezio (Paiva)	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Moimenta da Raia	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Moncorvo	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Outeiro	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Peneda	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Pinhel	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Ponte da Barca	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Ponte de Lima	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Portelinha	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
S. M. Montanha	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Tinhela	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	3
Torre do Pinhão	Aceite	Aceite	3	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Travancas	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite
Viatodos	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite	Aceite

O teste do Qui-Quadrado compara as frequências observadas com as frequências esperadas determinando se as diferenças entre contagens observadas e esperadas são demasiado grandes para serem causadas pelo acaso (Knocke & Kolivras, 2007).

Os resultados presentes no Quadro 5.2 indicam que a Lei de *Gumbel* é válida para todas as estações, segundo o teste de Kolmogorov-Smirnov, exceto para a estação de Espargo-Feira, que reprovou no teste da precipitação máxima diária (1 dia). O teste de Anderson-Darling validou a Lei de *Gumbel* para os dados da precipitação máxima diária, para todas as estações e para todas as durações estudadas. Pelo contrário, foi no teste de qui-quadrado que a Lei de *Gumbel* foi rejeitada em mais estações. Como não se verificou a rejeição de uma estação nos três testes em simultâneo, a distribuição de *Gumbel*, foi utilizada para o cálculo do período de retorno da precipitação máxima acumulada para 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 40, 60, 75 e 90 dias.

## 5.4. Metodologias de modelação espacial da precipitação

### 5.4.1. Modelação espacial das precipitações

A interpolação espacial permite a estimação de valores desconhecidos a partir de valores conhecidos do mesmo fenómeno (Nicolau, 2002). Para tal, muitos métodos de interpolação foram desenvolvidos para prever valores de fenómenos espaciais em locais não amostrados (Burrough, 1986; Mitas & Mitasova, 2005). Estes métodos podem ser globais ou locais. Os métodos globais utilizam a totalidade das observações disponíveis, enquanto os métodos locais recorrem apenas às observações que se encontram na vizinhança (Moral, 2010; Nicolau, 2002). Os métodos locais baseiam-se no pressuposto que cada ponto influencia a superfície em seu redor até certa distância (Mitas & Mitasova, 2005). Exemplos de métodos de interpolação globais são a análise de superfície de tendência, modelos de regressão polinomial e análise espectral (séries de Fourier). Os métodos de interpolação locais incluem por exemplo, os polígonos de Thiessen, o vizinho mais próximo, o inverso da distância, *spline* e krigagem. Os métodos de interpolação podem ainda ser determinísticos ou estocásticos. Os métodos determinísticos não permitem a avaliação de erros associados aos valores previstos, enquanto os métodos estocásticos permitem a avaliação de erros de previsão com base na estimativa das variâncias.

A precipitação é uma variável climática com uma grande variabilidade espacial, o que torna a sua análise territorial uma tarefa difícil (Carrera-Hernandez & Gaskin, 2007). Através da interpolação espacial é possível estimar os dados para áreas sem observações pontuais. No

entanto, este procedimento pode apresentar alguns problemas como a disponibilidade de estações meteorológicas ou a sua localização desigual pelo território. Isto acontece principalmente em áreas montanhosas, onde os valores são mais difíceis de prever devido à topografia (Moral, 2010). Uma série de métodos têm sido indicados para a interpolação dos dados pluviométricos, permitindo a criação de resultados bastante diferenciados dependendo da forma como são utilizados (Reis *et al.*, 2005). A escolha do melhor método depende da área e da escala espacial do mapa. Em locais com grandes contrastes topográficos ou com distintas condições dinâmicas na formação das precipitações, a interpolação pode apresentar mais problemas do que em locais mais planos ou em regiões com um padrão atmosférico mais constante (Vicente-Serrano *et al.*, 2003). A seleção do melhor método de interpolação pode depender também da escala temporal utilizada, uma vez que a precipitação apresenta diferentes variabilidades nas escalas anual, sazonal, mensal e diária e, por isso, a validade de uma técnica de interpolação pode mudar de acordo com o intervalo de tempo utilizado (Vicente-Serrano *et al.*, 2003).

A interpolação pode ainda ser desenvolvida com a inclusão de variáveis auxiliares, para além das observações de precipitação, cujo conhecimento poderá contribuir para melhorar as estimativas do fenómeno. O objetivo é melhorar as capacidades dos métodos para descrever as variações não explicitamente resolvidas pelas observações disponíveis e para reduzir o risco de erros sistemáticos relacionados com a não-representatividade da rede meteorológica (Masson & Frei, 2014). A aplicação destes métodos obriga a que as variáveis auxiliares sejam mais densamente representadas (tenham melhor resolução espacial) do que a variável a estimar (Nicolau, 2002). Uma das variáveis auxiliares mais utilizadas é a altitude. Em geral, a correlação entre a elevação e precipitação depende do tipo de precipitação e diminui com o aumento da resolução temporal dos dados de precipitação (Haberlandt, 2007). Os métodos mais usados na interpolação de dados de precipitação são: a interpolação polinomial, a interpolação em função do inverso da distância (IDW); a krigagem; a cokrigagem e a regressão linear múltipla.

A interpolação polinomial simples é um método de estimação global e exato que, para um conjunto de  $n$  observações, é possível identificar um polinómio que descreva uma superfície contínua e intersecte as  $n$  observações estudadas (Nicolau, 2002). O polinómio será:

$$f(x, y) = \sum_{i=0}^n \sum_{j=0}^n a_{ij} x^i y^j$$

*Equação 5.29*

Em que:



$X, y$  são as coordenadas das observações

$a_{ij}$  representam os coeficientes determinados por  $n$  equações da forma:

$$f(x_i, y_i) = Z_i \text{ onde } i = 1, 2, \dots, n$$

Equação 5.30

Segundo Nicolau (2002), a interpolação realizada através desta expressão pode gerar valores muito diferentes para localizações vizinhas e quando o número de observações é elevado este método é desaconselhado, uma vez que a solução do sistema de equações pode não ser precisa.

Outro método de interpolação é o inverso em função da distância (IDW). Este método estima os valores em pontos não amostrados pela média ponderada de dados observados em pontos circundantes e atribui maior peso aos pontos mais próximos (Carrera-Hernandez & Gaskin, 2007). O IDW pode ser exato ou aproximado dependendo da configuração dada pelo autor. Utiliza-se uma potência de peso que controla a maneira como os fatores de ponderação vão diminuir à medida que a distância ao ponto aumenta. Quanto maior a potência de peso, menor o efeito que os pontos têm na malha de pontos durante a interpolação. Este método tem a tendência a gerar padrões de contornos concêntricos ao redor dos pontos dados. Este efeito pode ser minimizado pela adoção de um parâmetro de suavização (Soares, 2006). A fórmula de cálculo é a seguinte (Vicente-Serrano *et al.*, 2003):

$$Z(X) = \frac{\sum_{i=1}^n Z(X_i) \times d_{ij}^{-r}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}^{-r}}$$

Equação 5.31

Em que:

$Z(X)$  é o valor previsto;

$Z(X_i)$  é o valor de uma estação meteorológica vizinha;

$d_{ij}$  refere-se à distância entre  $Z(X)$  e  $Z(X_i)$ ;

$r$  é o expoente da distância.

O método de regressão múltipla é um dos métodos mais comuns porque se adapta a quase todo o território e geralmente gera mapas adequados à realidade (Vicente-Serrano *et al.*, 2003). Este método baseia-se na dependência entre os dados climáticos e outras variáveis topográficas e geográficas que têm influência na precipitação (Portalés *et al.*, 2010). O valor de

uma variável climática em pontos amostrados é previsto pela seguinte equação (Vicente-Serrano *et al.*, 2003):

$$Z(X) = b_0 + b_1P_1 + b_2P_2 + \dots b_nP_n$$

Equação 5.32

Em que:

Z é o valor previsto no ponto x;

b<sub>0</sub> ... b<sub>n</sub> são os coeficientes de regressão;

P<sub>1</sub> ... P<sub>n</sub> são os valores das diferentes variáveis independentes no ponto x.

O método de krigagem (*kriging*) é um dos métodos de interpolação mais utilizados no estudo da precipitação (Ceresetti *et al.*, 2012). A krigagem baseia-se no pressuposto de que o parâmetro a ser interpolado pode ser tratado como uma variável regionalizada (Goovaerts, 2000; Portalés *et al.*, 2010). Os valores estimados obtidos através de métodos de krigagem são baseados na média ponderada dos dados disponíveis nas *n* estações meteorológicas vizinhas. A ponderação é escolhida de modo que o cálculo não seja tendencioso e a variação seja mínima. Inicialmente é determinada uma função que relaciona a variação espacial da variável climática utilizando um modelo de semivariograma que ajusta as semivariações entre os valores climáticos em diferentes distâncias espaciais (Vicente-Serrano *et al.*, 2003). O semivariograma faz a autocorrelação espacial do fenómeno em estudo em função da distância e da direção entre pares de observações. A análise do variograma permite descrever a estrutura do fenómeno e, por isso, depois de calculado, procede-se à identificação do modelo teórico que melhor se ajusta ao semivariograma empírico, para a obtenção de melhores resultados (Nicolau, 2002). Os modelos teóricos mais frequentemente ajustados a semivariogramas são o gaussiano, o exponencial, o esférico e o linear. Depois de validado o modelo do semivariograma, o passo seguinte é a estimação do fenómeno em estudo com base num modelo estrutural e na informação pontual disponível. Existem vários tipos de krigagem (Longley *et al.*, 2005), como a krigagem simples, a krigagem ordinária, a krigagem universal ou a cokrigagem. A krigagem simples parte do pressuposto que as médias locais são relativamente constantes e de que o valor esperado é conhecido para todo o domínio espacial (Carrera-Hernandez & Gaskin, 2007; Nicolau, 2002). A krigagem ordinária é geralmente associada como B.L.U.E. (*best linear unbiased estimator*) (Isaaks & Srivastava, 1989). Neste tipo de krigagem, os pesos são obtidos de tal forma que a estimativa é imparcial e a variância é minimizada (Goovaerts, 2000; Ly *et al.*, 2011), considerando que a tendência é desconhecida

mas constante (Carrera-Hernandez & Gaskin, 2007). A formulação da krigagem ordinária é a seguinte (Kebaili Bargaoui & Chebbi, 2009):

$$Z_{OK}(x_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(x_i)$$

Equação 5.33

Em que:

$Z_{OK}(x_0)$  - traduz a estimativa do fenómeno Z para a localização  $o$ ;

$Z(x_i)$  - traduz a observação do fenómeno Z na localização  $i$ ;

$\lambda_i$  - expressa o fator de ponderação atribuído à observação do fenómeno Z na localização  $i$ .

A krigagem universal considera que o valor esperado da função aleatória é desconhecido, exibindo flutuações entre os vizinhos. Assim, a tendência é modelada através de uma combinação linear das coordenadas geográficas das observações (Carrera-Hernandez & Gaskin, 2007; Nicolau, 2002).

A krigagem empírica bayesiana (EBK) é um método de interpolação geoestatístico que automatiza os aspetos mais difíceis da construção de um modelo de krigagem válido através do cálculo automático dos parâmetros manuais dos outros métodos de krigagem através de um processo de simulações (Pilz & Spöck, 2008).

A cokrigagem permite integrar variáveis auxiliares na interpolação. Para tal, é necessário que as variáveis auxiliares estejam relacionadas com a variável a estimar e que a amostragem da variável auxiliar seja superior à da variável a estimar (Nicolau, 2002). A formulação da cokrigagem é a seguinte (Soares, 2006):

$$[Z_1(x_0)]_{CK} = \sum_{i=1}^{N_1} a_i Z_1(x_i) + \sum_{j=1}^{N_2} b_j Z_2(x_j)$$

Equação 5.34

Em que:

$Z_1(x_0)$  - É a estimativa do fenómeno Z para a localização  $o$ ;

$Z_1(x_i)$  - É a observação do fenómeno Z na localização  $i$ ;

$Z_2(x_j)$  - Expressa o valor da variável auxiliar para a localização  $j$ ;

$n_1, n_2$  - Número de observações das variáveis  $Z_1$  e  $Z_2$  utilizadas na estimação.

Vários estudos revelaram que os métodos de krigagem obtêm melhores resultados na estimação de dados de precipitação (Goovaerts, 2000; Nicolau, 2002; Xu *et al.*, 2014). No entanto, segundo Dirks *et al.* (1998), os resultados dependem da densidade da amostra e que, para redes de alta resolução (por exemplo, 13 estações para uma área de 35 km<sup>2</sup>), o método de krigagem não apresenta melhores resultados do que as técnicas mais simples, como o IDW. Dentro da família dos tipos de krigagem, os métodos com recurso a variáveis auxiliares são os que apresentam melhores resultados de interpolação espacial da precipitação (Carrera-Hernandez & Gaskin, 2007; Diodato, 2005; Goovaerts, 2000; Moral, 2010; Nicolau, 2002). Portalés *et al.* (2010), num trabalho aplicado à região de Valência, Espanha, concluíram que não existe um método ideal, isso dependerá do número de fatores geográficos que influenciam a precipitação e da maior ou menor correlação espacial com a mesma. O mesmo concluiu Santos (2009), num trabalho de caracterização das precipitações extremas na área de Arcos de Valdevez, não existindo um modelo ideal para a interpolação dos parâmetros de precipitação extrema. Deste modo, os resultados obtidos pelas diversas técnicas de interpolação dependem da área de estudo (Masson & Frei, 2014), da densidade de pontos, como também, do nível de detalhe das variáveis auxiliares utilizadas. Por isso, a interpolação por diferentes métodos deve ser testada, para encontrar os mapas que mais se ajustam à realidade. Os SIG fazem com que o processo de produção e comparação entre mapas seja mais acessível (Vicente-Serrano *et al.*, 2003).

#### 5.4.2. Medidas de avaliação dos resultados de diversos modelos de estimação

A avaliação dos resultados é um passo importante na validação dos modelos utilizados. Para tal é possível avaliar os desvios produzidos pelo modelo de estimação, através dos valores estimados e dos valores observados. Deve-se também comparar a estatística descritiva das estimativas produzidas por cada técnica, com as estatísticas descritivas das observações do fenómeno em estudo (Nicolau, 2002). O coeficiente de determinação ( $r^2$ ) entre os dados reais e os preditos é um dos parâmetros utilizados na avaliação dos modelos. No entanto, Willmott (1982) refere que a relação entre  $r^2$  e o desempenho do modelo não é bem definida, e as magnitudes de  $r^2$  não são consistentemente relacionados com precisão da previsão. Por este motivo, outras técnicas devem ser utilizadas para determinar o desempenho de cada modelo (Vicente-Serrano *et al.*, 2003). Existem vários parâmetros que podem ser calculados para a

seleção do modelo mais adequado, como: erro médio (EM), erro absoluto médio (EAM), erro percentual absoluto médio (EAM%) ou o erro quadrático médio (EQM).

O erro médio (EM) calcula o desvio médio originado pelo modelo (Prudhomme & Reed, 1999)

O resultado deste parâmetro deve ser o mais pequeno possível. É calculado do seguinte modo:

$$EM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n z_i^* - z_i$$

*Equação 5.35*

Em que:

n representa o número de observações;

$z_i^*$  representa a observação do fenómeno;

$z_i$  reproduz a estimativa do fenómeno.

O erro absoluto médio (EAM) calcula a média dos desvios absolutos criados pelo modelo (Nicolau, 2002). É expresso da seguinte forma (Portalés *et al.*, 2010):

$$EAM = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n |z_i^* - z_i|$$

*Equação 5.36*

Em que:

n representa o número de observações;

$z_i^*$  representa a observação do fenómeno;

$z_i$  reproduz a estimativa do fenómeno.

O erro percentual absoluto médio (EAM%) não depende da direção dos desvios, fornecendo uma ordem de grandeza do erro cometido em percentagem (Nicolau, 2002). É calculado da seguinte forma:

$$EAM\% = 1/n \sum_{i=1}^n \left[ \left| \frac{z_i - z_i^*}{z_i^*} \right| * 100 \right]$$

*Equação 5.37*

Em que:

$z_i^*$  representa a observação do fenómeno;

$z_i$  reproduz a estimativa do fenómeno.

O erro quadrático médio (EQM) ou *mean squared error* (MSE) calcula a diferença quadrada média entre a precipitação observada e a estimada. Quanto mais baixo for o resultado deste parâmetro, mais precisa é a interpolação (Goovaerts, 2000). É calculado do seguinte modo (Goovaerts, 2000):

$$EQM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [z_i^* - z_i]^2$$

Equação 5.38

Em que:

$n$  representa o número de observações;

$z_i^*$  representa a observação do fenómeno;

$z_i$  reproduz a estimativa do fenómeno.

O parâmetro raiz do erro quadrático médio ou *Root Mean Square Error* (RMSE) tem sido usado como um critério de comparação em muitos estudos relacionados com a interpolação espacial da precipitação (Ly et al., 2011), apesar de este índice colocar muito peso sobre os erros elevados (Goovaerts, 2000). Quanto mais próximo de zero, melhor será a interpolação (Ly et al., 2011). A fórmula é a seguinte:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^N (z_i^* - z_i)^2}$$

Equação 5.39

Em que:

$n$  representa o número de observações;

$z_i^*$  representa a observação do fenómeno;

$z_i$  reproduz a estimativa do fenómeno.

Para além dos parâmetros estatísticos usados na validação da cartografia é também importante uma avaliação subjetiva da razoabilidade dos resultados (Daly et al., 2002). Desta forma o conhecimento climático da região pode ajudar a determinar se os modelos refletem ou não a realidade (Vicente-Serrano et al., 2003).

### 5.4.3. Organização e criação de informação temática em ambiente SIG

Neste trabalho, optou-se por avaliar a técnica mais adequada para a interpolação da precipitação na região Norte, testando diferentes métodos na representação do parâmetro da precipitação média anual, com base nas 44 estações selecionadas. Como vimos anteriormente, cada método tem as suas vantagens e desvantagens, devendo ser testado o método que melhor se adapta à área de estudo e à densidade de pontos. Desta forma, o objetivo é testar várias técnicas de interpolação e escolher o método que melhor se adapta à região Norte e às bacias em estudo e que depois será aplicado em todas as interpolações dos dados de precipitação. Para tal, procedeu-se à modelação da distribuição espacial da precipitação média anual (1960/61-2000/01), com recurso a diversas técnicas de interpolação uni-variadas e multivariadas, utilizando o *software ArcGis 10*. Foram selecionados os modelos de interpolação mais usados na análise da precipitação, ou seja (Quadro 5.3):

- Interpolação em função do inverso da distância (IDW) para as 3 potências de distância mais usuais: 1, 2 e 3;
- Interpolação Global Polinomial para três potências: 1, 2 e 3;
- Krigagem ordinária segundo os modelos do semivariograma: esférico, gaussiano e exponencial;
- Krigagem empírica bayesiana;
- Cokrigagem com uma ou duas variáveis auxiliares: Altitude e Distância ao Mar;
- Regressão linear múltipla.

No Quadro 5.3 está patente a simbologia de todos os modelos de interpolação testados. As variáveis auxiliares usadas foram a altitude e a distância ao mar. A variável dependente altitude refere-se à altitude de todas as estações meteorológicas, fornecidas pelo SNIRH, da APA. A relação da altitude com a precipitação é positiva, ou seja, em geral, à medida que aumenta a altitude, aumenta a precipitação, enquanto o ar conservar humidade suficiente para tal (Daveau, 2000; Ferreira, 2005; Medeiros, 2000). A distância ao mar foi calculada em metros, da estação meteorológica ao oceano Atlântico. Excluindo a influência de outros fatores, a precipitação tende a decrescer com o afastamento à linha de costa, isto é quanto menor a distância ao mar, maior é a precipitação. Em geral, isto deve-se ao facto de as massas de ar de proveniência marítima perderem seu teor de humidade com maior intensidade na travessia da barreira de condensação provocada pelas montanhas ocidentais.



Todos os mapas foram classificados com classes iguais para facilitar a comparação dos resultados. Procedeu-se também à análise da estatística descritiva: valor médio, o valor mínimo, o valor máximo, a mediana e o desvio padrão, entre os valores observados e os valores estimados e das medidas de avaliação que abrangem o erro médio, o erro absoluto médio, o erro percentual absoluto médio, o erro quadrático médio e a raiz do erro quadrático médio. A seleção final do método mais adaptado à modelação da precipitação fundamentou-se na avaliação conjunta da inspeção visual dos mapas desenvolvidos e da análise dos erros ou desvios de cada interpolação.

Quadro 5.3. Simbologia dos modelos de interpolação testados.

Simbologia	Modelos de Interpolação
IDW1	Interpolação desenvolvida em função do inverso da distância, com 1 potência e 15 observações vizinhas de máximo e 10 de mínimo
IDW2	Interpolação desenvolvida em função do inverso da distância, com 2 potência e 15 observações vizinhas de máximo e 10 de mínimo
IDW3	Interpolação desenvolvida em função do inverso da distância, com 3 potência e 15 observações vizinhas de máximo e 10 de mínimo
IDW1.4	Interpolação desenvolvida em função do inverso da distância, com 1,4 (valor de potência otimizado automaticamente) potência e 15 observações vizinhas de máximo e 10 de mínimo
GP1	Interpolação desenvolvida através de um polinómio global, com 1 potência
GP2	Interpolação desenvolvida através de um polinómio global, com 2 potência
GP3	Interpolação desenvolvida através de um polinómio global, com 3 potência
KriOrd:Exp	Interpolação desenvolvida através de krigagem ordinária com base num modelo semivariográfico exponencial
KriOrd:Esf	Interpolação desenvolvida através de krigagem ordinária com base num modelo semivariográfico esférico
KriOrd:Gau	Interpolação desenvolvida através de krigagem ordinária com base num modelo semivariográfico gaussiano
Kri_EmpBay	Interpolação desenvolvida através de krigagem empírica bayesiana
CokExp_Alt	Interpolação desenvolvida através de cokrigagem ordinária, com base num modelo semivariográfico exponencial, utilizando a altitude como variável auxiliar
CokEsf_Alt	Interpolação desenvolvida através de cokrigagem ordinária, com base num modelo semivariográfico esférico, utilizando a altitude como variável auxiliar
CokGau_Alt	Interpolação desenvolvida através de cokrigagem ordinária, com base num modelo semivariográfico gaussiano, utilizando a altitude como variável auxiliar
CokExp_DistM	Interpolação desenvolvida através de cokrigagem ordinária, com base num modelo semivariográfico exponencial, utilizando a distância ao mar como variável auxiliar
CokEsf_DistM	Interpolação desenvolvida através de cokrigagem ordinária, com base num modelo semivariográfico esférico, utilizando a distância ao mar como variável auxiliar
CokGau_DistM	Interpolação desenvolvida através de cokrigagem ordinária, com base num modelo semivariográfico gaussiano, utilizando a distância ao mar como variável auxiliar
CokExp_AltDistM	Interpolação desenvolvida através de cokrigagem ordinária, com base num modelo semivariográfico exponencial, utilizando a altitude e a distância ao mar como variáveis auxiliares
CokEsf_AltDistM	Interpolação desenvolvida através de cokrigagem ordinária, com base num modelo variográfico esférico, utilizando a altitude e a distância ao mar como variáveis auxiliares
CokGau_AltDistM	Interpolação desenvolvida através de cokrigagem ordinária, com base num modelo semivariográfico gaussiano, utilizando a altitude e a distância ao mar como variáveis auxiliares
RegMult	Interpolação desenvolvida através de regressão linear multivariada

#### 5.4.4. Avaliação dos métodos de interpolação espacial da precipitação

A análise comparativa entre a estatística descritiva dos valores observados e dos valores estimados nas técnicas de interpolação testadas permite verificar que a interpolação desenvolvida através de um polinómio global, com 1 potência apresenta a média mais próxima do valor real (GP1). No entanto são as técnicas de cokrigagem que exibem a mediana, desvio padrão, máximo e mínimo, mais próximos dos valores reais (Quadro 5.4). A maioria dos modelos produz o valor mínimo em excesso e o valor máximo por defeito, comparativamente ao valor observado.

A média nos modelos testados é superior ao valor real enquanto, o desvio padrão é inferior ao valor real. No Quadro 5.4, a negrito estão os valores mais próximos dos valores observados.

Quadro 5.4. Estatística descritiva dos valores observados e dos estimados da precipitação média anual.

Modelo de Interpolação	Estatística Descritiva				
	Média	Mediana	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo
<b>Valores Observados</b>	<b>1369,1</b>	<b>1277,5</b>	<b>625,8</b>	<b>356,7</b>	<b>2691,8</b>
IDW1	1399,8	1395,8	510,7	630,5	2196,3
IDW2	1389,5	1363,8	552,2	526,0	2351,3
IDW3	1388,8	1362,1	586,2	422,8	2485,2
IDW1.4	1394,4	1379,7	527,4	609,2	2254,4
GP1	<b>1369,6</b>	1364,8	531,9	460,0	2140,6
GP2	1376,6	1351,1	545,0	286,8	2198,8
GP3	1378,8	1372,6	575,8	275,4	2726,1
KriOrd:Exp	1381,2	1370,9	565,8	490,7	2411,7
KriOrd:Esf	1379,1	1397,2	557,3	478,3	2385,9
KriOrd:Gau	1377,9	1346,7	548,4	502,8	2303,8
Kri_EmpBay	1376,9	1358,1	529,1	509,5	2416,8
CokExp_Alt	1382,3	1333,9	573,4	463,9	2409,6
CokEsf_Alt	1374,6	1340,4	545,0	496,7	2349,7
CokGau_Alt	1373,7	1348,7	537,6	452,5	2325,1
CokExp_DistM	1384,9	1388,9	489,5	543,4	2152,9
CokEsf_DistM	1381,7	1392,4	592,5	<b>382,1</b>	2557,2
CokGau_DistM	1396,6	<b>1257,0</b>	622,8	296,4	2694,0
CokExp_AltDistM	1384,9	1388,9	489,5	543,4	2152,9
CokEsf_AltDistM	1384,9	1388,9	489,5	543,4	2152,9
CokGau_AltDistM	1397,6	1255,9	<b>623,1</b>	301,1	<b>2692,4</b>
RegMult	1395,0	1490,6	515,4	272,4	2404,3

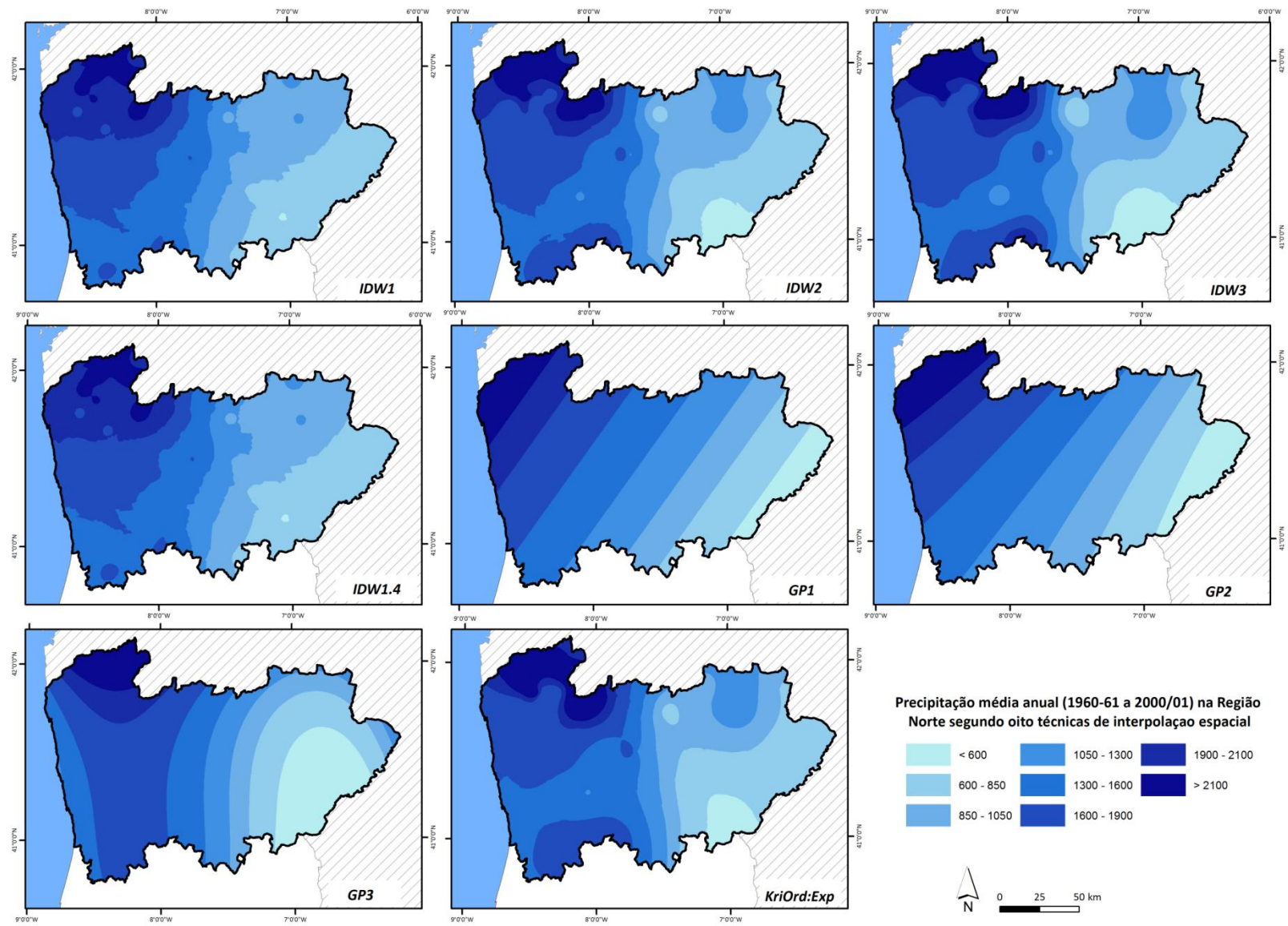
O coeficiente de correlação atinge os 0,87 em quatro interpolações: krigagem ordinária segundo o modelo semivariográfico gaussiano (KriOrdGau), cokrigagem ordinária com base num modelo semivariográfico gaussiano (CokGau\_Alt), utilizando a altitude como variável auxiliar,

cokrigagem ordinária, com base num modelo semivariográfico gaussiano, utilizando a distância ao mar como variável auxiliar (CokGau\_DistM) e cokrigagem ordinária, com base num modelo semivariográfico gaussiano, utilizando a altitude e a distância ao mar como variáveis auxiliares (CokGau\_AltDistM). A técnica que produziu um menor erro médio foi a interpolação polinomial global com 1 de potência (GP1). No entanto, esta técnica não produziu os mesmos resultados em relação aos restantes parâmetros tidos em conta na avaliação das interpolações. Relativamente aos parâmetros de avaliação: erro absoluto médio, erro percentual médio, erro quadrático médio e a raiz do erro quadrático médio, a interpolação desenvolvida através da krigagem ordinária com base num modelo semivariográfico gaussiano (*KriOrd:Gau*) obteve os melhores resultados. A negrito, no Quadro 5.5 destaca-se o modelo com o melhor resultado para cada parâmetro

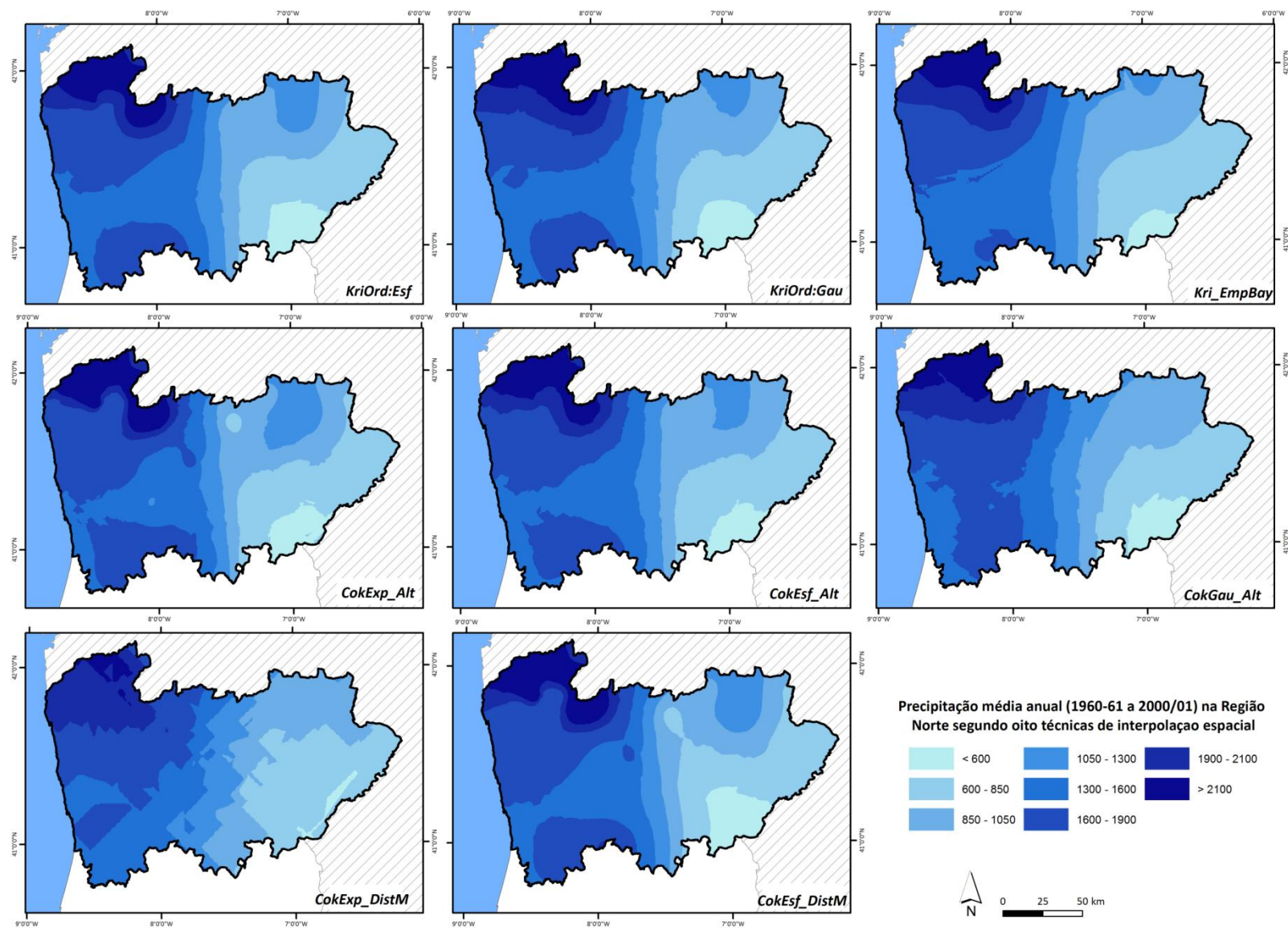
Quadro 5.5. Medidas de avaliação das estimativas da precipitação média anual produzidas para os modelos testados.

Modelo de Interpolação	Parâmetros de Avaliação					
	C. Correlação	EM	EAM	EAM%	MSE	RMSE
IDW1	0,84	30,75	268,27	19,60	110797,55	332,86
IDW2	0,84	20,40	259,88	18,98	111674,60	334,18
IDW3	0,84	19,72	266,70	19,48	119314,39	345,42
IDW1.4	0,85	25,33	261,52	19,10	109611,30	331,08
GP1	0,82	<b>0,51</b>	275,80	20,14	124290,31	352,55
GP2	0,80	7,55	290,92	21,25	141254,00	375,84
GP3	0,84	9,67	260,60	19,03	113022,21	336,19
KriOrd:Exp	0,86	12,16	241,08	17,61	101434,10	318,49
KriOrd:Esf	0,87	10,01	232,01	16,95	94536,83	307,47
KriOrd:Gau	0,87	8,84	223,93	<b>16,36</b>	<b>90017,12</b>	<b>300,03</b>
Kri_EmpBay	0,86	7,85	242,39	17,70	99634,72	315,65
CokExp_Alt	0,83	13,20	265,63	19,40	123232,94	351,05
CokEsf_Alt	0,85	5,56	247,36	18,07	107631,99	328,07
CokGau_Alt	0,87	4,65	236,71	17,29	94097,36	306,75
CokExp_DistM	0,85	15,80	250,85	18,32	109628,58	331,10
CokEsf_DistM	0,85	12,58	254,26	18,57	109759,54	331,30
CokGau_DistM	0,87	27,53	247,07	18,05	102322,34	319,88
CokExp_AltDistM	0,85	15,80	250,85	18,32	109628,58	331,10
CokEsf_AltDistM	0,85	15,80	250,85	18,32	109628,58	331,10
CokGau_AltDistM	0,87	28,54	247,93	18,11	103218,62	321,28
RegMult	0,84	-84,00	272,04	18,39	114178,25	337,90

Nas figuras seguintes (Figura 5.2) apresentam-se as estimativas da precipitação média anual desenvolvidas.







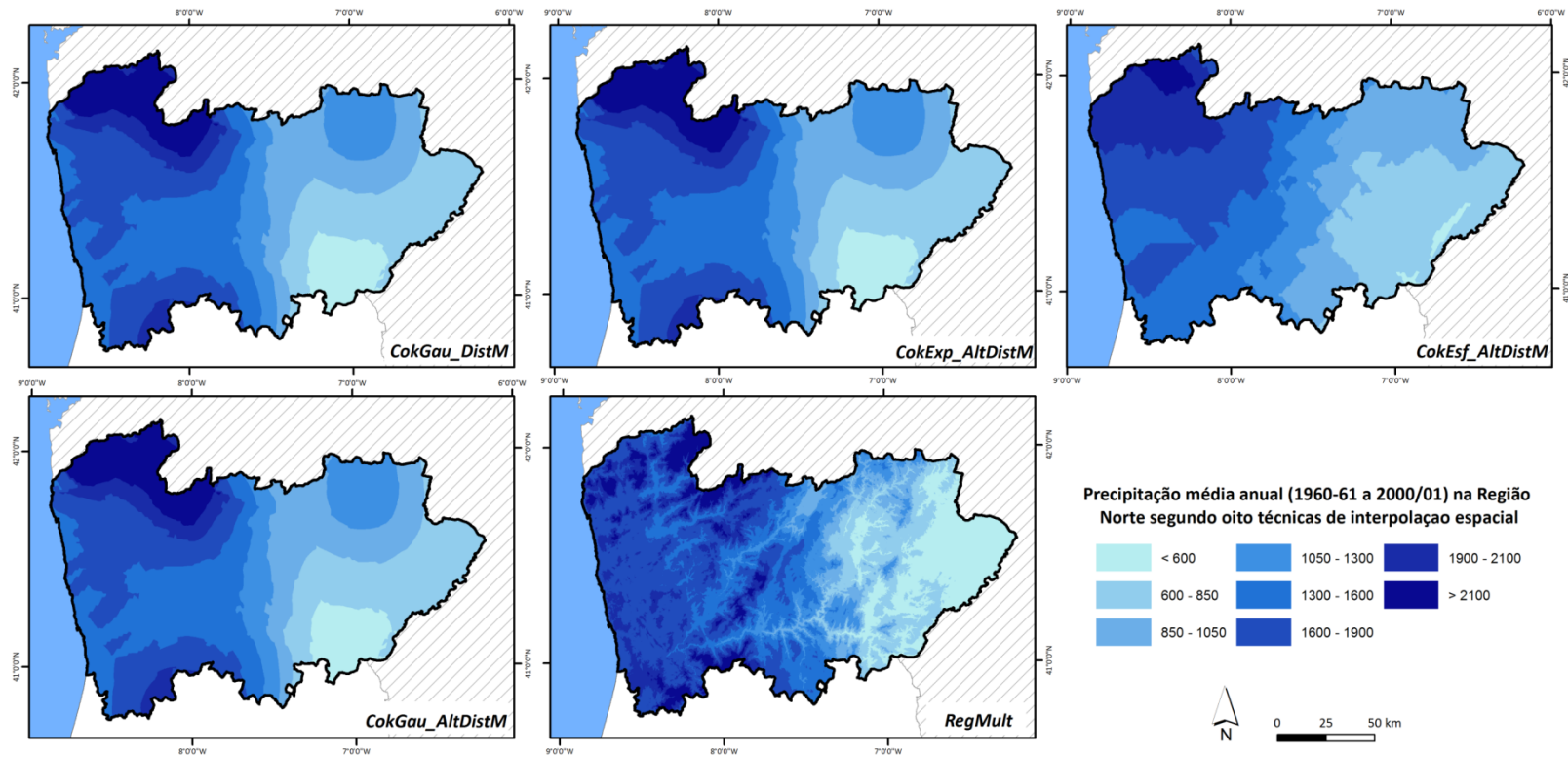


Figura 5.2. Precipitação média anual na região Norte, segundo vinte e uma técnicas de interpolação espacial.

Visualmente os melhores modelos são a interpolação desenvolvida através de krigagem ordinária com base num modelo semivariográfico gaussiano, as interpolações desenvolvidas através da cokrigagem ordinária com a altitude como variável auxiliar e a regressão linear múltipla. Neste modelo, verificamos a importância da variação da altitude na região Norte. Deste modo, a análise conjunta dos parâmetros de avaliação, da estatística descritiva e do aspeto visual dos mapas, levou à escolha da técnica de krigagem ordinária segundo o modelo semivariográfico gaussiano (KriOrdGau), para a interpolação dos dados de precipitação, neste trabalho. No entanto é de realçar que estes resultados dependem da amplitude dos dados, da localização e do número de estações utilizadas.

### 5.5. Regimes hidrológicos

A análise aos regimes hidrológicos das bacias em estudo está muito condicionada pela disponibilidade dos dados. Cada estação tem um período distinto com dados diários de caudal médio diário, como podemos verificar no Quadro 5.6. Se optássemos por um período comum, só teríamos 12 anos de dados, excluindo-se vários anos com dados. A estação de Ermida na bacia do rio Corgo tem 50 anos de dados diários, entre 1956 e 2006, enquanto as estações de Moinho da Ponte Nova (entre 1974 e 2006) e Quinta Rape (1976 e 2006), na bacia rio Távora, têm 32 e 30 anos de dados sem falhas, respetivamente. A estação de Pontilhão de Celeiros localizada na bacia do rio Vez apenas tem 26 anos de dados entre 1960 e 1990. Na bacia do rio Este, a estação de Ponte Junqueira é a que apresenta um período menor de dados, entre 1978 e 2000, com 20 anos de dados diários. Deste modo, como o período e a quantidade dos dias com dados diários de caudal médio diário é distinto para cada estação, optamos por analisar os regimes hidrológicos nas quatro bacias em estudo utilizando todos os dados disponíveis.

Quadro 5.6. Período de dados das estações hidrométricas.

Estação	Rio	Início	Fim	Anos com dados	Observações
<b>Ermida</b>	Rio Corgo	01-10-1956	30-09-2006	50	
<b>Ponte Junqueira</b>	Rio Este	01-10-1978	30-09-2000	20	faltam 2 anos de dados
<b>Moinho da Ponte Nova</b>	Rio Távora	01-10-1974	30-09-2006	32	
<b>Quinta Rape</b>	Rio Távora	01-10-1976	30-09-2006	30	
<b>Pontilhão Celeiros</b>	Rio Vez	01-10-1960	30-09-1990	26	faltam 5 anos de dados



### 5.5.1. Caudais anuais

A UNESCO (1978) classifica os cursos de água com base no seu caudal médio anual: grandes rios ( $> 1000 \text{ m}^3/\text{s}$ ), rios ( $150 \text{ a } 1000 \text{ m}^3/\text{s}$ ), ribeiras ( $5 \text{ a } 150 \text{ m}^3/\text{s}$ ) e pequenas correntes de água ( $< 5 \text{ m}^3/\text{s}$ ) (Ramos, 2005b). Em primeiro lugar realizou-se uma abordagem às medidas de tendência central, de dispersão e de assimetria das séries. É também analisada a amplitude de variação, isto é, a diferença entre o ano de caudal mais elevado e o ano de caudal mais baixo ( $Q_{\text{máx}} - Q_{\text{mín}}$ ) e o coeficiente de flutuação, ou seja, a relação entre o caudal anual mais elevado e o caudal anual mais baixo ( $Q_{\text{máx}}/Q_{\text{mín}}$ ), sendo possível investigar a irregularidade das séries (Ramos, 1994). A variação interanual dos caudais é também estudada através do coeficiente de variação (%), ou seja,  $(\sigma / Q) \times 100$ , em que  $\sigma$  é o desvio padrão e  $Q$  é a média dos caudais e do coeficiente de irregularidade intrínseca ( $I$ ). O curso de água é regular, quando o valor de  $I$  é de 0,2 e o curso de água é irregular, quando o valor de  $I$  é de 0,8 (Ramos, 2005b).

$$I = 1/2 \frac{(Q_{85} - Q_{15})}{Q}$$

*Equação 5.40*

Em que:

$I$  é o coeficiente de irregularidade intrínseca;

$Q_{85}$  é o caudal correspondente a 85% da série de caudais classificados anuais;  $Q_{15}$  é o caudal correspondente a 15% da série de caudais classificados anuais;

$Q$  é o caudal médio.

Calculou-se também o caudal específico, que relaciona o caudal ( $Q$ ) com a área de contribuição da bacia hidrográfica ( $A$ ). Este cálculo permite comparar entre si, caudais provenientes de áreas distintas, independente das dimensões destas.

$$q = \frac{Q}{A}$$

*Equação 5.41*

De seguida aplicou-se o método dos coeficientes hidroclimáticos (Probst & Tardy, 1985) que define o número de anos secos, normais e húmidos ocorridos ao longo da série de dados. A metodologia é a seguinte (Ramos, 2005b):

1. Cálculo da média da série de valores ( $Q$ =módulo);

2. Definição dos valores do ano mais seco (Qm) e do ano mais húmido (QM);
3. Divisão da série em classes, a partir das seguintes operações  $(Q-Qm)/3$  e  $(QM-Q)/3$ , para o cálculo do intervalo de classe (ic) dos anos com caudais inferiores (icm) e superiores à média (icM), respetivamente;
4. Definição dos valores limite de cada classe, através das seguintes operações:  $Qm+icm=Q1$ ,  $Q1+icm=Q2$ ,  $Q2+icm=Q$  (média),  $Q+icM=Q3$ ,  $Q3+icM=Q4$ ,  $Q4+icM=QM$ ;
5. Definição das 6 classes (3 acima e 3 abaixo da média) (Quadro 5.7).

Quadro 5.7. Coeficientes hidroclimáticos.

Tipo de ano	Valores-Limite	Coeficiente Hidroclimático
Extremamente seco	Qm a Q1	0
Seco	Q1 a Q2	20
Moderadamente seco	Q2 a Q	40
Moderadamente húmido	Q a Q3	60
Húmido	Q3 a Q4	80
Extremamente húmido	Q4 a QM	100

6. Classificação de todos os anos da série conforme o seu caudal anual.

A partir daqui elaboraram-se os histogramas de frequência, representando o número de anos pertencentes a cada classe e calculou-se o coeficiente de achatamento (AG) das séries de caudais anuais. O coeficiente de achatamento tende a ser próximo de zero se o histograma for alongado e com um grande número de anos com caudais próximos da média e próximo de 0,5 se for achatado, exibindo por isso, uma grande dispersão de anos pelas várias classes (Ramos, 1994, 2005b). A equação é a seguinte (Probst & Tardy, 1985):

$$AG = \left( \frac{nH + nS}{N} \right) 0,5 + \left( \frac{nEH + nES}{N} \right) 1$$

Equação 5.42

Em que:

AG é o coeficiente de achatamento;

N é o número total de anos;

nH e nS são os números de anos húmidos e secos, respetivamente; e nEH e nES são os números de anos extremamente húmidos e extremamente secos, respetivamente.

Segundo Ramos (1994, p. 61) *“a dependência e, consequentemente, a correlação entre os caudais e as precipitações varia de bacia para bacia, consoante os seus aspetos geográficos”*. Apesar de o caudal se relacionar com a precipitação que cai em toda a bacia-vertente, relacionou-se os valores dos caudais anuais com as precipitações anuais da estação meteorológica mais próxima e com o mesmo período de dados disponível.

### 5.5.2. Caudais mensais

As variações mensais dos caudais permitem definir os meses do ano com abundância ou escassez, com base nos coeficientes mensais dos caudais (cmc). Os cmc correspondem à razão entre os caudais médios mensais e o caudal médio anual ( $Q_{\text{mensal}} / Q_{\text{anual}}$ ). Quando o cmc é igual a 1, significa que o caudal médio mensal é igual ao caudal médio anual, quando o cmc é superior a 1, representa o período de abundância de escoamento e quando o valor do cmc é inferior a 1, define o período de escassez (Ramos, 2005b). Segundo Ramos (1994), a estiagem é definida por um cmc inferior a 0,25. Foram também calculados os coeficientes de variação mensais, os percentis e a avaliação dos meses sem caudal ( $Q_{\text{mensal}} = 0$ ).

### 5.5.3. Caudais diários e máximos anuais

Elaborou-se a representação gráfica da curva de duração dos caudais médios diários, onde os valores dos caudais ( $Q$ ) estão agrupados por ordem de grandeza (Lencastre & Franco, 2003). Os valores de caudais máximos anuais pelo seu carácter aleatório podem ocorrer em qualquer altura do ano. Por isso foram avaliados os meses em que ocorreram os máximos anuais de todas as séries. Ramos (1994) propõe a designação de um coeficiente de flutuação de cheia (CFc) para avaliar a amplitude dos caudais de cheia máxima em relação ao caudal semipermanente avaliando a transfiguração dos cursos de água em episódios extremos.

$$CFc = \frac{C_{\text{Max. Ins.}}}{C_m}$$

Equação 5.43

Em que:

CFc é o coeficiente de flutuação de cheias;

C.Max.Ins é o maior valor do caudal máximo instantâneo anual no período da série;

Cm é o caudal mediano ou semi-permanente.

Foram também calculados os períodos de retorno, segundo a lei de *Gumbel*, para as séries de caudal instantâneos máximos anuais, obtendo-se assim os caudais de cheia.

## Capítulo 6. Precipitações anuais e mensais

### 6.1. Estatística descritiva das precipitações anuais e mensais

#### 6.1.1. Região Norte

Na região Norte, no período de 1960/61 a 2000/01, a precipitação média anual foi de 1507 mm, apesar de se verificar um grande variabilidade espacial, entre os 530 mm na estação de Moncorvo, no vale do rio Douro e os 3116 mm na estação de Leonte, na serra da Peneda-Gerês (Figura 6.1). Deste modo, existe uma grande diferença entre as estações com os valores mais elevados de precipitação média anual: Leonte (3116 mm), Aveleiras (2469 mm), Peneda (2590 mm) e Cerdeira (2496 mm), localizadas no noroeste da região Norte e as estações com os valores mais baixos de precipitação média anual: Moncorvo (530 mm), Folgares (643 mm) e Fonte da Aldeia (651 mm), localizadas no Nordeste da região (Figura 6.1 e Quadro 6.1).

Estas diferenças de precipitação são explicadas principalmente pela distribuição e disposição das serras de Peneda-Gerês, Amarela, Cabreira, Alvão e Marão, que constituem uma barreira à penetração para o interior dos ventos húmidos do Atlântico, tornando o Nordeste uma das regiões mais secas. Na Figura 6.1 é possível observar estas diferenças, verificando-se uma contínua diminuição da precipitação depois da passagem das serras do Marão e Alvão (Figura 6.1). Quase todas as estações localizadas no Nordeste Transmontano recebem menos de 1000 mm de precipitação anual, enquanto as estações localizadas próximas do litoral recebem mais de 1200 mm de precipitação anual.

O valor mais elevado de precipitação anual registou-se na estação Leonte, localizada no concelho de Terras do Bouro, com 5193 mm, no ano hidrológico de 1965/66. Também nas estações da Aveleiras e Peneda, localizadas no concelho de Arcos de Valdevez, o valor máximo de precipitação anual ultrapassou os 5000 mm, no ano hidrológico de 2000/01. Aliás, neste ano hidrológico, registaram-se os máximos de precipitação máxima anual em 55% das estações. O valor mais baixo de precipitação anual assinalou-se na estação de Moncorvo (131,9 mm), no ano de 1997/98. Os contrastes de precipitação anual entre as estações em estudo são elevados. No período em análise, registaram-se anos com valores extremos de precipitação anual que ultrapassaram os 4000 mm, nas estações de Leonte (8 anos), Aveleiras (2 anos), Cerdeira (2 anos), Extremo (1 ano), Outeiro (1 ano) e Peneda (2 anos). Apenas em cerca de 5% dos anos, em todas as estações, os valores de precipitação anual ultrapassaram os

3000 mm. Também se constataram anos em que a precipitação não ultrapassou os 1000 mm/ano, constituindo cerca de 32% do total de anos em todas as estações.

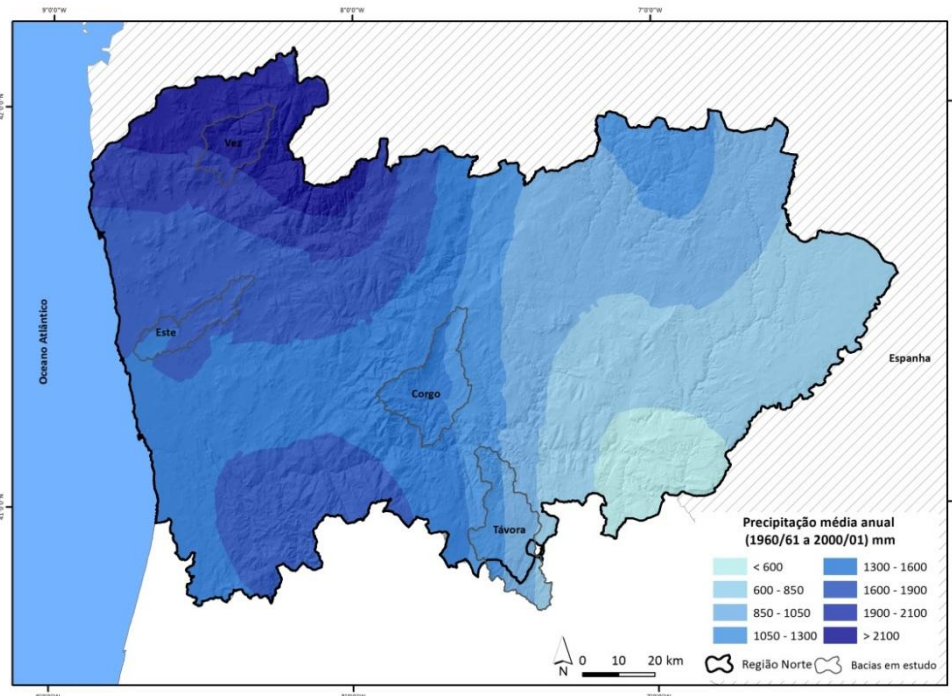


Figura 6.1. Precipitação média anual (1960/61 a 2000/01).

A mediana constitui o valor central numa série, representando o total que foi excedido em metade dos anos do período considerado. Na maioria das estações (95%), a mediana é inferior à média, ou seja a média é influenciada pelos valores mais elevados de precipitação anual. Nas estações de Peneda e Portelinha, a mediana é superior à média, o que significa que a média é influenciada pelos valores mais baixos da série (Quadro 6.1).

O desvio padrão indica-nos a variação dos dados em torno da média. Assim, os valores de desvio padrão mais elevados registaram-se nas estações de Leonte, Aveleiras e Peneda, o que significa que das estações analisadas, são estas que apresentam uma maior variação dos dados em torno da média. Pelo contrário, a menor variabilidade constata-se nas estações de Folgares e Moncorvo (Quadro 6.1).

O coeficiente de variação mostra que os valores das estações se afastam da média, entre 25% em Deilão a 42% em Jou (Quadro 6.1).

A variabilidade anual da precipitação nas estações em estudo é elevada. Os anos que apresentaram maiores quantitativos de precipitação foram os anos hidrológicos de 2000/01 e 1965/66. Em 33% das estações estes anos foram os anos mais chuvosos. Analisando o terceiro ano mais chuvoso, verifica-se uma maior variabilidade, não existindo nenhum ano que se

evidencie. Pelo lado oposto, destacam-se os anos de 1988/89, 1975/76 e 1991/92, com quantitativos de precipitação anual bem abaixo da média.

No período analisado, o número médio de dias, com precipitação superior a 1 mm foi de 105 dias/ano. Tal como a quantidade de precipitação, também o número médio de dias com precipitação  $\geq 1$  mm é muito variável neste contexto regional. Em Leonte registaram-se, em média, 137 dias com precipitação e na estação de Moncorvo, 64 dias (Figura 6.2). Os restantes valores médios mais elevados do número de dias com precipitação assinalaram-se em Aveleiras (132 dias), Extremo (131 dias) e Cerdeira (123 dias), ou seja, nas estações que se situam no Noroeste da região Norte. Do lado oposto, encontram-se as estações de Jou (79 dias), Folgares (80 dias) e Fonte da Aldeia (82 dias) localizadas nos vales do Tua e Sabor (Figura 6.2). O número máximo de dias com precipitação assinalou-se, no ano hidrológico de 2000/2001, na estação de Aveleiras com 187 dias, ou seja, em mais de metade dos dias do ano registou-se precipitação  $\geq 1$  mm. Em Santa Marta da Montanha e Leonte, o máximo do número de dias com precipitação também foi semelhante, de 183 e 178 dias, respetivamente.

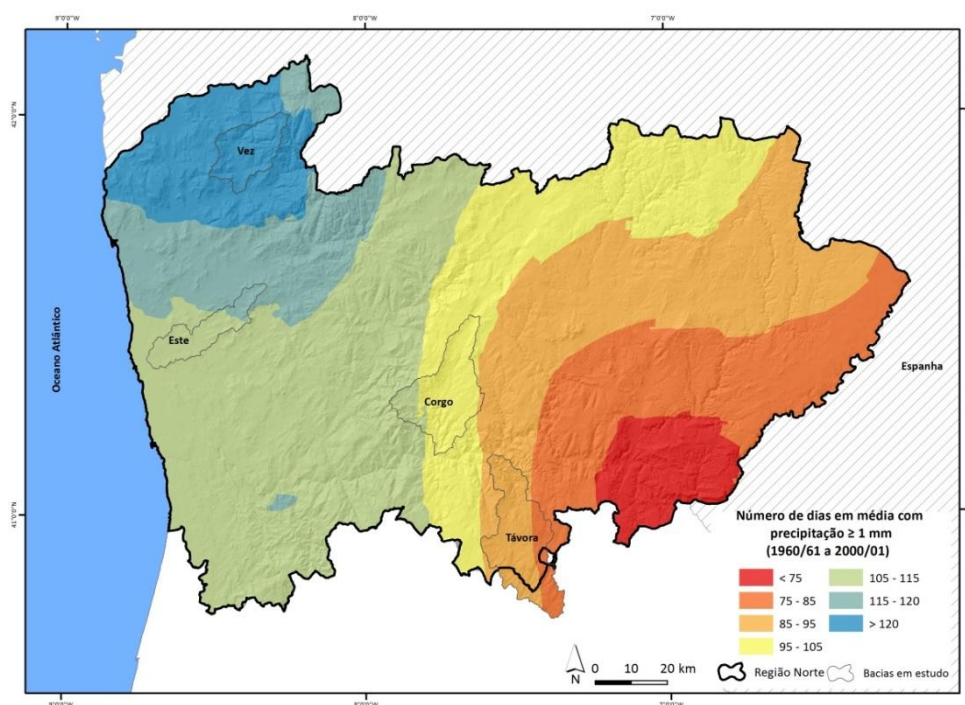


Figura 6.2. Número de dias em média com precipitação  $\geq 1$  mm.

O regime mensal de precipitação na região Norte caracteriza-se por um forte contraste nos quantitativos de precipitação entre os meses de inverno e os meses de verão. A precipitação média mensal começa a aumentar em setembro (5,4%), atingindo os quantitativos mais



elevados nos meses de dezembro (14%) e janeiro (14%). A partir de janeiro começam a baixar até ao mínimo que ocorre em julho (1,6%) (Figura 6.3).

Quadro 6.1. Estatística descritiva das precipitações anuais.

Código	Nome	Valor Máximo (mm)	Valor mínimo (mm)	Média (mm)	Mediana (mm)	Desvio Padrão mm)	Coef. de variação (%)
06I/01G	Amarante	2339	682	1276	1158	369	29
04S/01UG	Avelanoso	1283	404	722	631	233	32
02G/11UG	Aveleiras	5146	1183	2469	2304	829	34
04F/01C	Barcelos	2907	823	1609	1501	453	28
08G/01C	B. Castelo Burgães	3105	565	1796	1717	545	30
04I/02UG	Brancelhe	3175	860	1908	1792	576	30
02H/07UG	Britelo	2858	955	1727	1693	455	26
03G/04UG	Caldelas	3235	936	1736	1718	480	28
04R/03UG	Campo de Vóboras	1562	368	698	667	242	35
02G/09G	Casal Soeiro	3085	1136	1946	1823	502	26
04J/04UG	Cavez	2442	173	1362	1241	446	33
03P/01UG	Celas	3357	621	1223	1098	472	39
02F/02G	Cerdeira	4204	775	2496	2396	758	30
03M/01G	Chaves	1444	372	725	684	225	31
02R/02G	Deilão	1394	510	824	803	209	25
02G/03G	Extremo	4150	1285	2290	2260	631	28
05H/01UC	Fafe	3073	920	1692	1560	460	27
06N/01C	Folgares	979	272	643	588	179	28
05S/01UG	Fonte da Aldeia	1210	341	651	600	203	31
02O/01UG	Gestosa	1843	561	955	929	273	29
05M/01UG	Jou	1931	509	885	731	368	42
03I/03UG	Leonte	5193	913	3116	3073	928	30
04K/03UG	Lixa do Alvão	2407	576	1405	1315	452	32
02P/01C	Moimenta da Raia	2307	694	1259	1188	368	29
06O/04UG	Moncorvo	927	132	530	503	198	37
03J/02UG	Outeiro	4008	749	2178	2122	790	36
02H/03UG	Peneda	5082	1094	2590	2634	829	32
03G/02C	Ponte da Barca	2814	943	1691	1578	464	27
03F/01G	Ponte de Lima	2608	888	1659	1587	432	26
01H/02G	Portelinha	3653	823	2052	2061	642	31
04K/02G	S. M. da Montanha	3676	981	1813	1783	518	29
03N/02UG	Tinhela	2223	509	958	837	370	39
05L/03UG	Torre do Pinhão	1901	741	1192	1082	359	30
03N/01G	Travancas	2089	515	996	909	291	29
05F/01UG	Viatodos	2856	921	1691	1616	458	27

A média de precipitação mensal é mais elevada em janeiro, com 207 mm. O valor mais elevado regista-se na estação de Leonte (no concelho de Terras do Bouro) com 445 mm, enquanto o valor mais baixo ocorre na estação de Moncorvo (concelho de Torre de Moncorvo), com 63

mm de precipitação mensal média em janeiro. Os valores mais baixos ocorrem no verão, em agosto, registando-se nas estações de Moncorvo e Fonte de Aldeia com 10 e 11 mm precipitação média mensal (totais mais baixos). Os meses de abril e maio são meses de transição, podendo, nalguns anos, manter o carácter chuvoso dos meses anteriores (Ferreira, 2005).

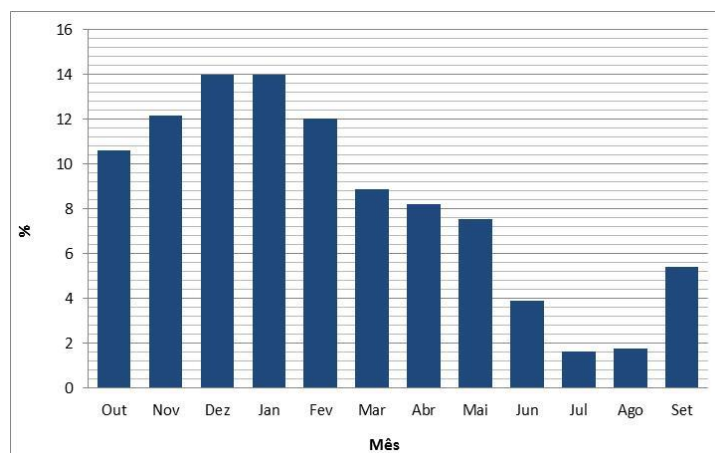


Figura 6.3. Precipitação média mensal na região Norte (%), entre 1960/61 e 2000/01.

Na Figura 6.4 podemos observar a precipitação média por estações do ano. Deste modo verifica-se que a precipitação segue o mesmo padrão regional que a distribuição da precipitação anual, sendo os valores mais elevados no Noroeste da região e os valores mais baixos no Alto Vale do Douro e nos vales do Tua e do Sabor.

O regime mensal da precipitação na região Norte é bastante diferente, estando muito dependente da localização geográfica. Assim, de modo a mostrar esta afirmação, as estações foram divididas em quatro grupos. O grupo 1 é constituído pelas estações com precipitação anual superior a 1700 mm, que se localizam nas áreas montanhosas do Noroeste, na serra do Alvão e serra da Freita (Aveleiras, Barragem Castelo Burgães, Brancelhe, Casal Soeiro, Cerdeira, Extremo, Leonte, Outeiro, Peneda, Portelinha e Santa Marta da Montanha).

O segundo grupo é composto por estações com precipitação anual entre os 1500 e os 1700 mm, localizando-se relativamente próximas do litoral e nos vales dos rios (Barcelos, Britelo, Caldelas, Fafe, Ponte da Barca, Ponte de Lima e Viatodos). O terceiro grupo é constituído por estações com precipitação média anual entre os 1000 e os 1300 mm, localizando-se próximas de áreas montanhosas como as serras do Alvão e Marão e nas serras de Montesinho e Nogueira no Nordeste transmontano (Amarante, Cavez, Celas, Lixa do Alvão, Moimenta da Raia e Torre do Pinhão).

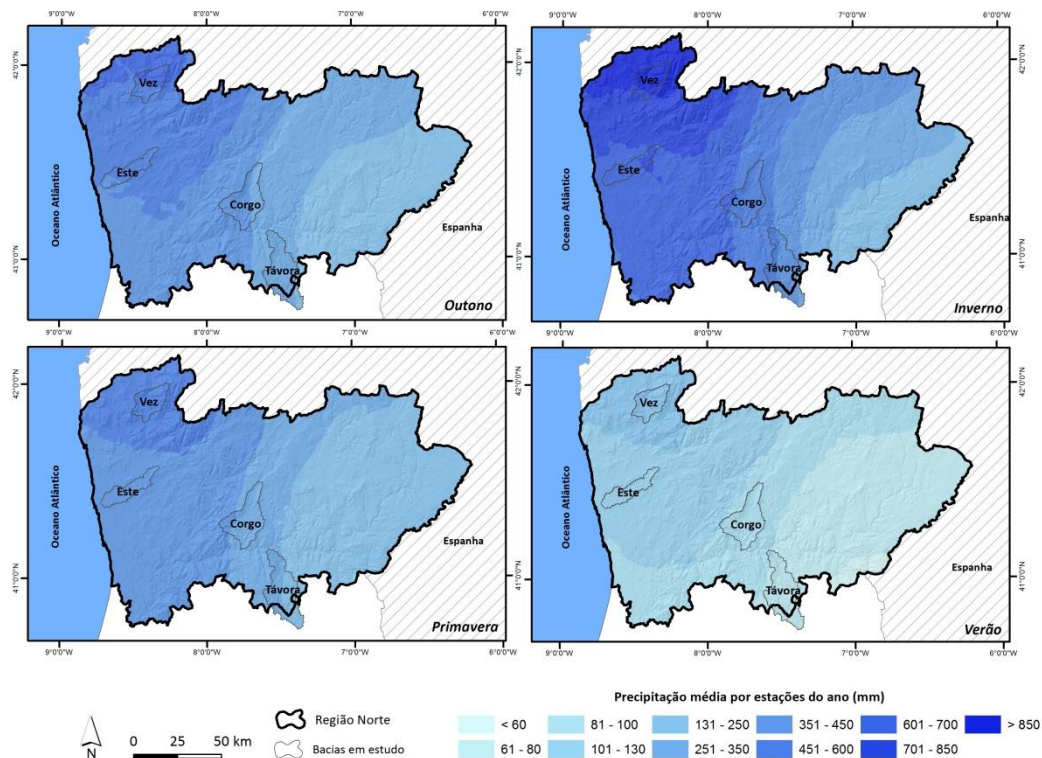


Figura 6.4. Precipitação média por estações do ano.

Por fim, o quarto grupo é composto por estações localizadas no Nordeste transmontano e Alto Douro com precipitação média anual inferior a 1000 mm (Avelanoso, Campo de Víboras, Chaves, Deilão, Folgares, Fonte da Aldeia, Gestosa, Jou, Moncorvo, Tinhela e Travancas). Na análise à Figura 6.5 é possível verificar as diferenças nos quantitativos mensais que vão diminuindo de grupo 1 para o grupo 4. Nas estações dos grupos 1,2,3, o mês de março apresenta valores positivos, ou seja, superiores à média. O mesmo não acontece nas estações do grupo 4, isto é do Nordeste Transmontano e Alto Douro. Os meses de abril e maio, neste grupo apresentam valores superiores à média mensal, enquanto nos restantes grupos apresenta valores inferiores à média mensal (Figura 6.5).

Os resultados por estações do ano demarcam bem as diferenças da precipitação entre a estação seca e a estação chuvosa. Nos meses de outono ocorre 28% e nos meses de inverno regista-se 40% da precipitação média anual. A estação seca caracteriza-se pela ocorrência de apenas 7% da precipitação (Figura 6.6). Na estação de Torre do Pinhão, localizada no concelho de Sabrosa, 43% da precipitação média anual regista-se no inverno.

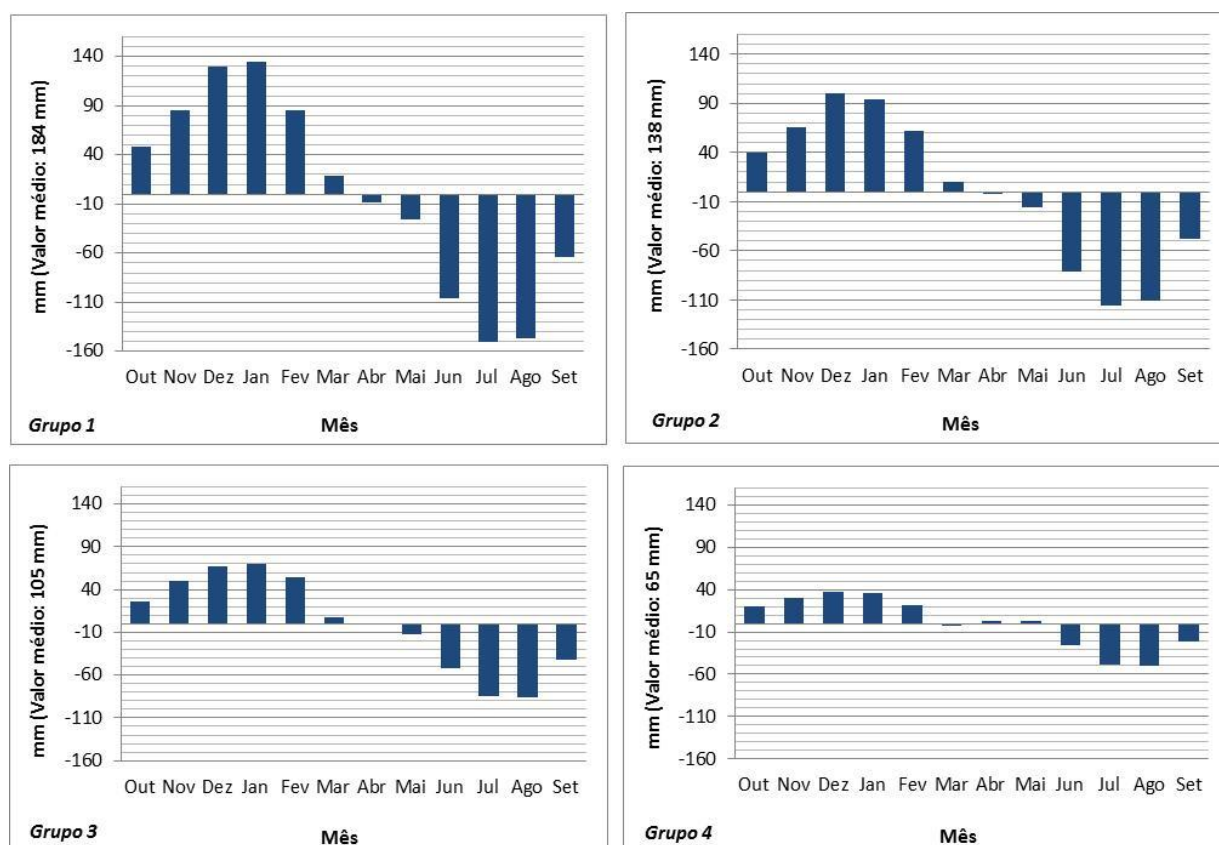


Figura 6.5. Anomalia da precipitação face ao valor médio mensal por grupos de estações.

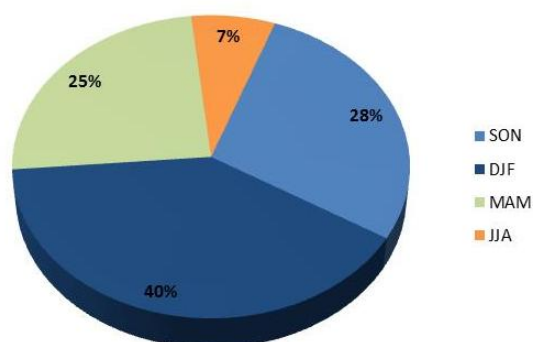


Figura 6.6. Precipitação média por estações do ano (%), na região Norte.

Estas diferenças entre estações do ano são explicadas particularmente pelos principais tipos de tempo que afetam a região. No verão, o território português está sob o domínio dos anticlones subtropicais quentes e espessos (Ferreira, 2005). Nos meses de inverno, Portugal encontra-se geralmente incluído na faixa latitudinal varrida pelas depressões da frente polar (Daveau, 2000).

No inverno, o número médio de dias com precipitação  $\geq 1$  mm é na região Norte de 36 dias. Este valor desce na primavera, para 30 dias em média. No outono, registam-se 28 dias e no

verão, alcança o valor mínimo de 12 dias com precipitação  $\geq$  a 1 mm (Figura 6.7). No entanto, este parâmetro obtém valores muito diferentes, consoante a localização das estações. Deste modo, o número médio de dias com precipitação  $\geq$  a 1 mm atinge valores superiores a 40 dias no noroeste (estações de Aveleiras, Extremo e Leonte) no inverno, e valores mais baixos inferiores a 9 dias no verão, no interior da região (estações de Moncorvo, Jou, Torre de Pinhão e Tinhela).

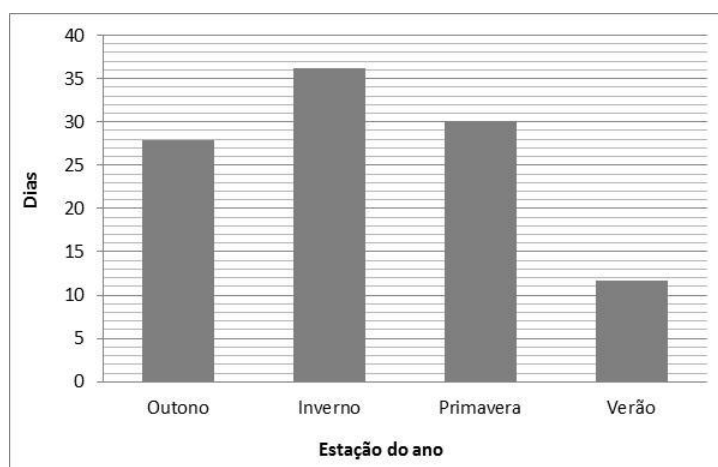


Figura 6.7. Número médio de dias com precipitação  $\geq$  1 mm na região Norte.

### 6.1.2. Bacia do rio Vez

As estações situadas na área da bacia do rio Vez apresentam os valores de precipitação mais elevados da região Norte. A média de precipitação anual nesta área é de 2203 mm, sendo na estação de Leonte de 3116 mm e na estação de Ponte de Lima, 1659 mm (Figura 6.1 e Figura 6.8). O valor máximo de precipitação média anual registou-se na estação de Leonte, no ano hidrológico de 1965/66, com 5193 mm (valor máximo também na região Norte). O ano hidrológico de 2000/2001 foi o ano que averbou os valores de precipitação anuais mais elevados em oito das dez estações em estudo. Relativamente aos valores mais baixos de precipitação anual, estes ocorreram no ano hidrológico de 1988/89 em nove das dez estações. O valor mais baixo de precipitação anual assinalou-se na estação de Cerdeira com 775 mm, no ano hidrológico de 1998/1999. Em cinco das dez estações, ocorreram anos com precipitação superior a 4000 mm: Aveleiras (2), Cerdeira (2), Extremo (1), Leonte (8) e Peneda (2). Apenas as estações de Britelo, Ponte de Lima e Ponte da Barca, localizadas no vale do rio Lima, não

registaram anos com precipitações superiores a 3000 mm. Em Leonte assinalaram-se 22 anos com precipitação anual superior a 3000 mm.

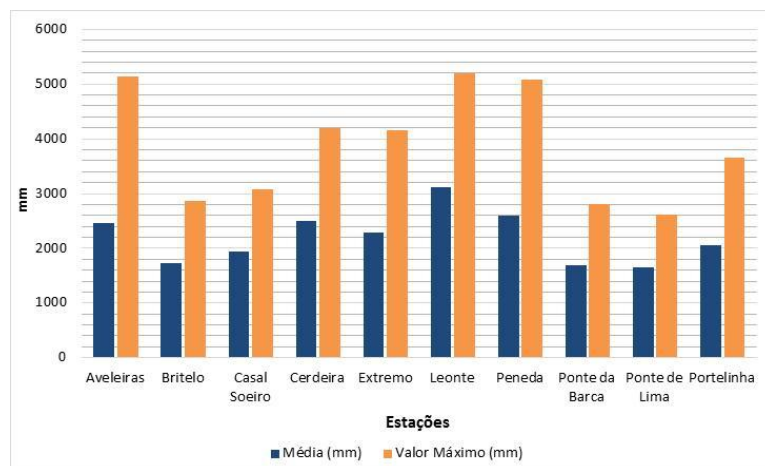


Figura 6.8. Precipitação média e máxima anual na bacia do rio Vez.

A bacia do rio Vez localiza-se numa das áreas mais chuvosas do país e por isso, com o maior número de dias com precipitação superior a 1 mm (Figura 6.2). Deste modo, o número médio de dias com precipitação é de 123 dias. No entanto, este valor sobe para 137 dias na estação de Leonte e desce para 111 dias na estação da Peneda. Estes valores mostram que a ocorrência de mais dias com precipitação superior a 1 mm não significa maiores quantitativos de precipitação anual, uma vez que Peneda apresenta um dos valores mais elevados de precipitação média anual e o valor mais baixo do número médio de dias de com precipitação.

Na Figura 6.9 podemos averiguar a variabilidade interanual da precipitação entre 1960/61 a 2000-01. Ao longo do período em estudo verificam-se flutuações nos quantitativos de precipitação anual. Os anos com os valores mais elevados de precipitação anual são praticamente os mesmos em todas as estações, destacando-se os anos hidrológicos de 2000/01, 1978/79 e 1965/66. As estações de Britelo, Casal Soeiro, Ponte da Barca e Ponte de Lima que se situam nos vales (do rio Lima e Vez) apresentam uma evolução interanual muito semelhante (Figura 6.9). Nas estações de montanha, ou seja Peneda, Leonte, Extremo e Portelinha, as discrepâncias de quantitativos de precipitação entre as estações são maiores (Figura 6.9).

A precipitação média mensal na bacia do rio Vez segue o mesmo padrão da precipitação média mensal na região Norte (Figura 6.4). Os valores mais baixos ocorrem em julho e em agosto, com menos de 2%, cada mês, do total de precipitação média mensal.

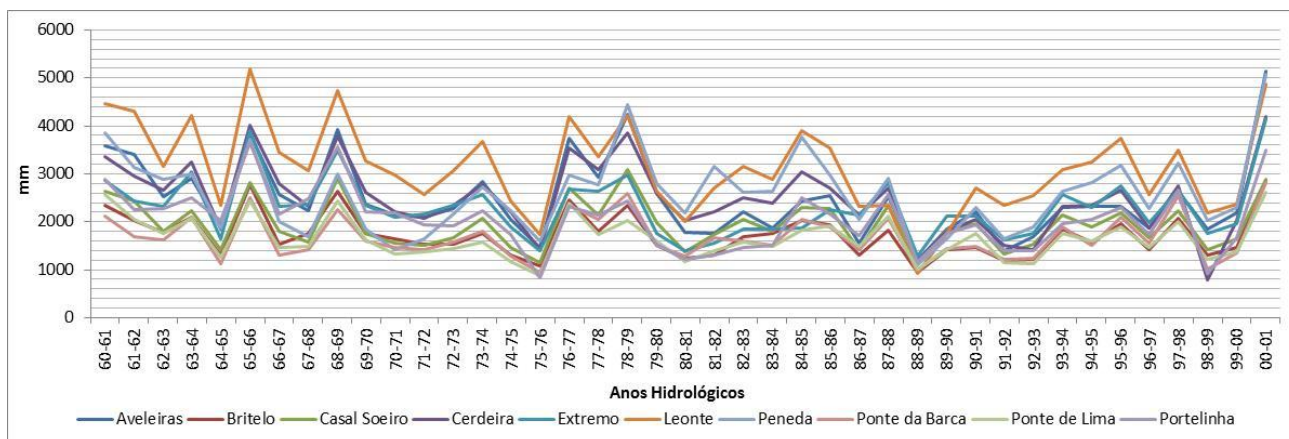


Figura 6.9. Precipitação anual (mm) entre 1960/61 e 2000/01 na bacia do rio Vez.

A partir de setembro, os quantitativos mensais começam a subir, culminando nos meses de dezembro e janeiro, com 14%, cada mês, do total de precipitação média mensal. Os meses de abril e maio são meses de transição, com 8% e 7% respetivamente do total de precipitação mensal (Figura 6.10).

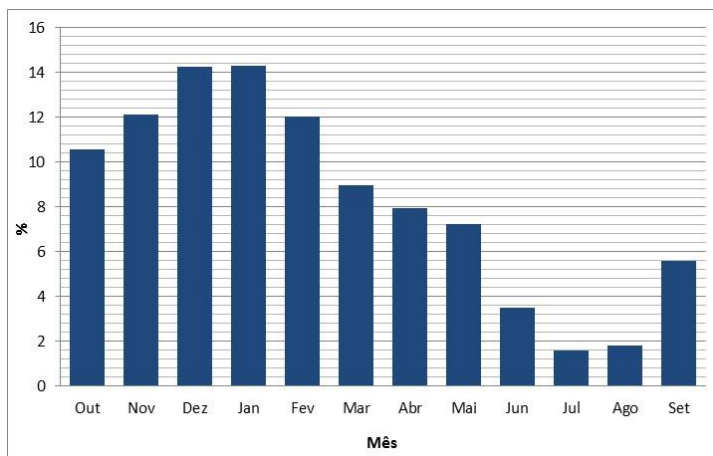


Figura 6.10. Precipitação média mensal na bacia do rio Vez (%).

As estações de Leonte e Peneda exibem os quantitativos de precipitação mais elevados, principalmente no inverno, outono e primavera. A estação de Leonte destaca-se também pelo facto de no verão assinalar mais de 236 mm de precipitação média. Os valores mais baixos, em todas as épocas do ano, registam-se nas estações de fundo de vale de Ponte da Barca, Ponte de Lima e Britelo (Figura 6.4 e Figura 6.11). No inverno, registam-se em média 41 dias com precipitação  $\geq 1$  mm. Este valor desce na primavera para 35 dias e no outono para 32 dias. No verão ocorrem em média 14 dias com precipitação  $\geq 1$  mm, na bacia do rio Vez (Figura 6.12).



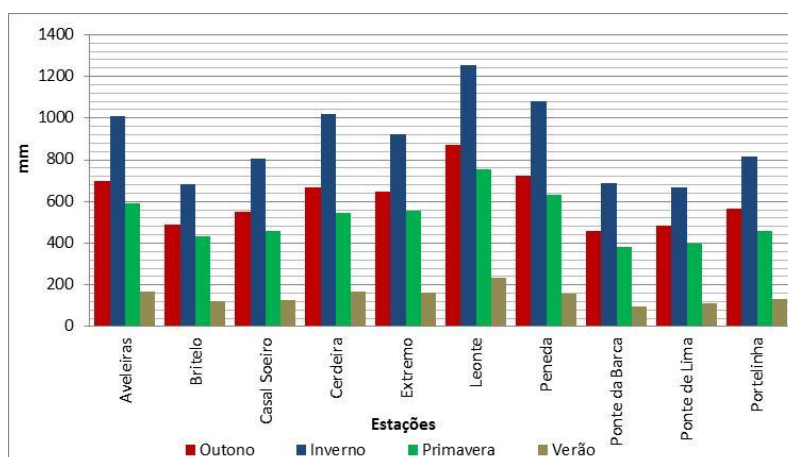


Figura 6.11. Precipitação média por estação do ano na bacia do rio Vez.

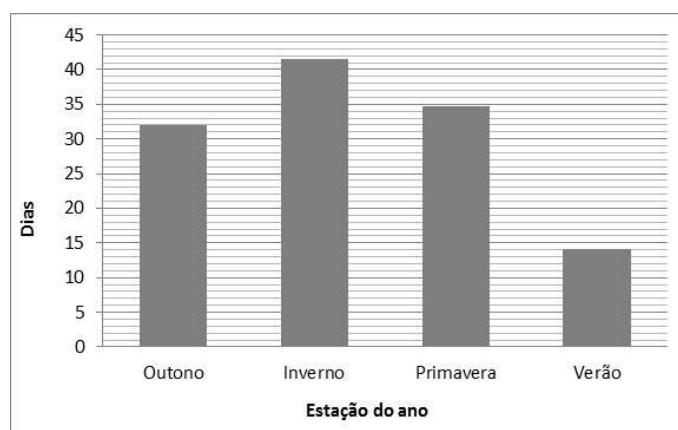


Figura 6.12. Número médio de dias com precipitação  $\geq 1$  mm na bacia do rio Vez.

### 6.1.3. Bacia do rio Este

As estações localizadas na área que abrange a bacia do rio Este ostentam quantitativos de precipitação média anual muito semelhantes (Figura 6.1 e Figura 6.13). Das quatro estações em estudo, situadas no Minho, Caldelas é a que se encontra a uma altitude mais elevada (259 m). Os valores do coeficiente de variação situam-se entre os 27% nas estações de Fafe e Viatodos e os 28% nas estações de Barcelos e Caldelas. O valor mais elevado de precipitação média anual encontra-se na estação de Caldelas (1736 mm), localizada no concelho de Amares. Os valores máximos de precipitação anual apresentam também o mesmo padrão. Na estação de Caldelas encontra-se o valor mais elevado de precipitação máxima anual da área em estudo, com 3235 mm (Figura 6.13). Todos os valores de precipitação máxima anual da

área em estudo registaram-se no ano hidrológico de 2000/2001. Os valores mais baixos de precipitação anual ocorreram em todas as estações nos anos hidrológicos de 1975/76 e 1988/89. Apenas Caldelas e Fafe receberam quantitativos de precipitação superior a 3000 mm, que ocorreram no ano hidrológico de 2000/01. Em 90% dos anos em todas as estações registaram-se precipitações superiores a 1000 mm. Caldelas é a estação com mais dias de precipitação superior a 1mm, com uma média de 117 dias/ano. Barcelos e Fafe exibem uma média de 116 dias por ano e Viatodos apresenta o valor mais baixo, com uma média de 108 dias/ano (Figura 6.2). O valor máximo de dias com precipitação ocorreu no ano hidrológico de 2000/01, na estação de Fafe (166 dias/ano).

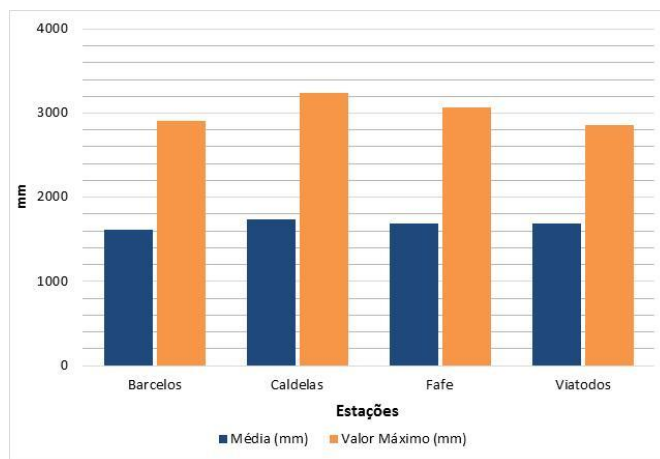


Figura 6.13. Precipitação média e máxima anual na bacia do rio Este.

A variabilidade interanual na bacia é idêntica nas estações em estudo, ou seja, estas apresentam o mesmo padrão ao longo do período de 1960/61 a 2000/01. Podemos verificar alguns valores extremos comuns de precipitação anual, como 2000/01, 1978/79 e 1976/77. Relativamente aos mínimos, surgem os anos de 1975/76 e 1988/89, com os valores mais baixos de precipitação anual (Figura 6.14). Com base nos dados mensais, podemos constatar que dezembro é o mês com a precipitação média mensal mais elevada (14,5%). De seguida, destacam-se os meses de janeiro com 14% do total de precipitação e novembro com 12,1%. Os valores mais baixos ocorrem nos meses de julho e agosto, 1,4% e 1,7%, respetivamente do total de precipitação média mensal (Figura 6.15).

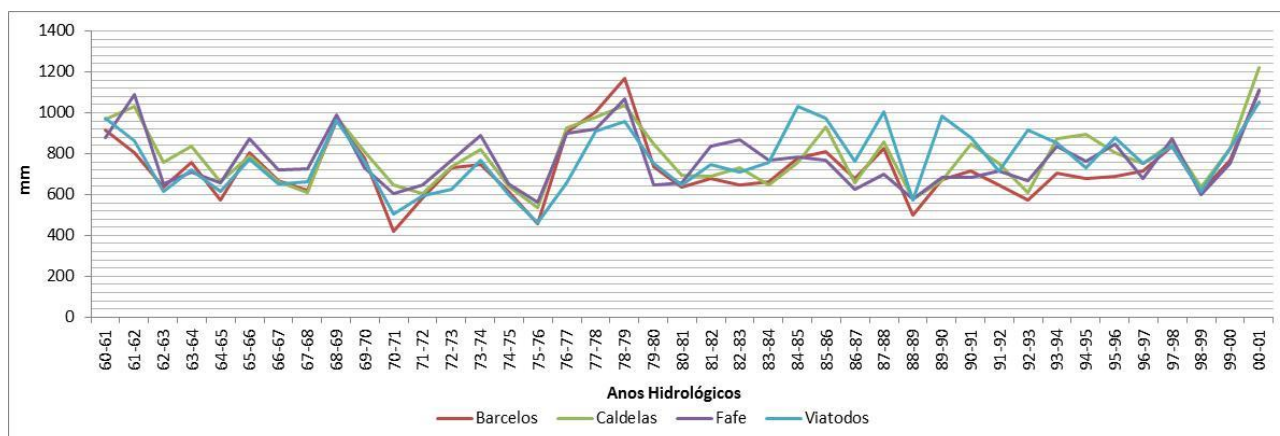


Figura 6.14. Precipitação anual (mm) nas estações na bacia do rio Este.

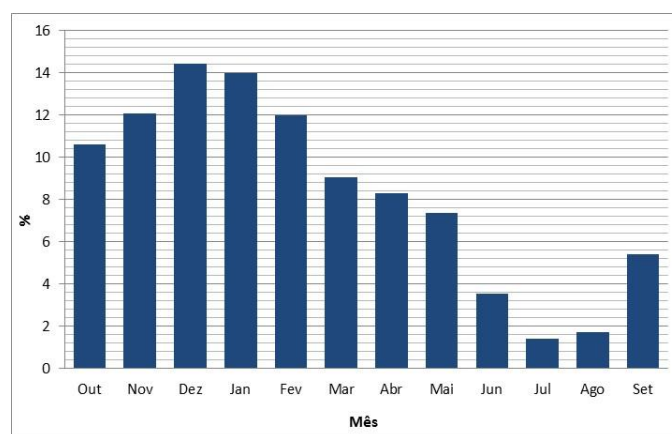


Figura 6.15. Precipitação média mensal na bacia do rio Este (%).

Os resultados da precipitação média por estações do ano mostram, uma variabilidade espacial pouco acentuada. Deste modo, os valores médios são muito idênticos entre as estações, destacando-se as estações de Caldelas com os valores mais elevados e a de Barcelos com os valores mais baixos (Figura 6.4 e Figura 6.16). A precipitação no inverno nesta área de estudo situa-se entre os 650 e os 700 mm. No outono, regista-se cerca de 473 mm de precipitação e na primavera, 416 mm. Na estação seca, os quantitativos médios de precipitação situam-se entre os 110 e os 120 mm nas quatro estações em análise (Figura 6.4 e Figura 6.16).

No inverno registam-se mais dias com precipitação  $\geq 1$  mm. Nas estações de Barcelos e Caldelas a média de dias com precipitação  $\geq 1$  mm é de 41 dias e nas estações de Fafe e Viatodos é de 40 dias. Na primavera ocorrem cerca de 32 dias com precipitação e no outono 30 dias. Nos meses de verão registam-se em média 12 dias com precipitação  $\geq 1$  mm (Figura 6.17).

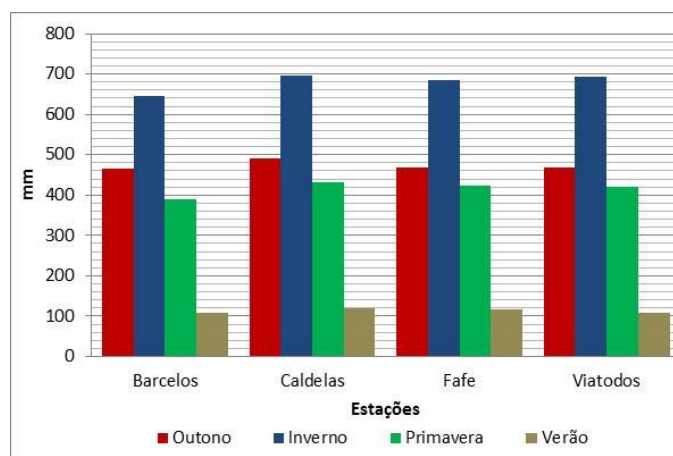


Figura 6.16. Precipitação média por estação do ano na bacia do rio Este.

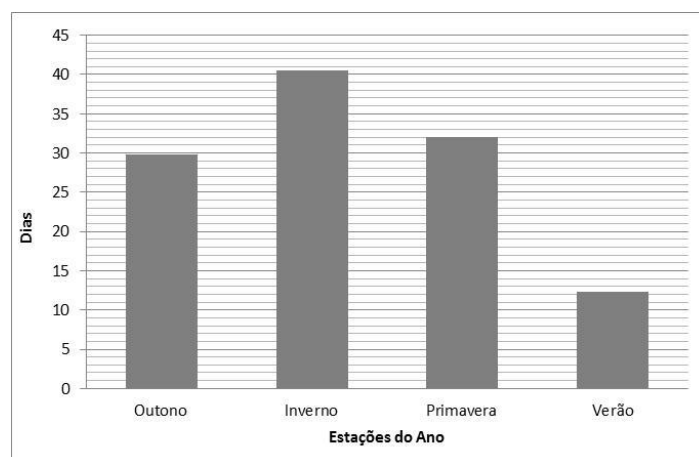


Figura 6.17. Número médio de dias com precipitação  $\geq 1$  mm na bacia do rio Este.

#### 6.1.4. Bacia do rio Corgo

A precipitação média anual na área da bacia do rio Corgo é de 1322 mm. Na análise à Figura 6.18, podemos agrupar as estações em 3 grupos: Amarante e Cavez com valores de precipitação média anual de 1276 e 1362 mm, respetivamente; Lixa do Alvão e Santa Marta da Montanha, com os valores mais elevados de precipitação média anual (1405 mm e 1813 mm); e Jou e Torre do Pinhão (885 e 1193 mm) com os valores mais baixos de precipitação média anual (Figura 6.18). Estas diferenças são explicadas pela localização das estações face às serras do Alvão e do Marão: Amarante e Cavez localizam-se a oeste, Lixa do Alvão e Santa Marta da Montanha localizam-se na serra do Alvão e Jou e Torre de Pinhão localizam-se a este destas

cadeias montanhosas e por isso os valores de precipitação são mais baixos. O valor máximo de precipitação anual ocorreu na estação de Santa Marta da Montanha com 3676 mm, no ano hidrológico de 2000/01.

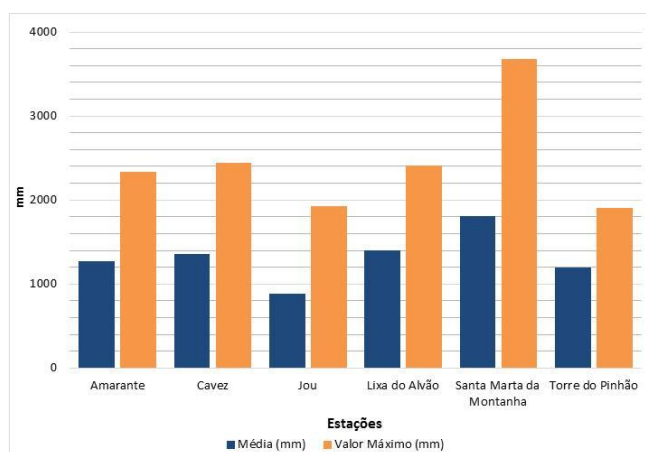


Figura 6.18. Precipitação média e máxima anual na bacia do rio Corgo.

Foi também neste ano que se registaram os valores máximos nas estações de Amarante, Cavez e Lixa do Alvão. Nas estações de Jou e Torre do Pinhão, os valores máximos aconteceram nos anos hidrológicos de 1961/62 (1931 mm) e 1978/79 (1900 mm), respetivamente. Apenas na estação de Santa Marta da Montanha se registou um ano com precipitação anual superior a 3000 mm. As estações localizadas na área que compreende a bacia do Corgo apresentam fortes contrastes na precipitação média anual, devido essencialmente à sua localização face às serras do Alvão e Marão, fator que também parece justificar a forte variabilidade interanual. Torre do Pinhão destaca-se com os valores mais elevados e Jou, com os valores mais baixos (Figura 6.19).

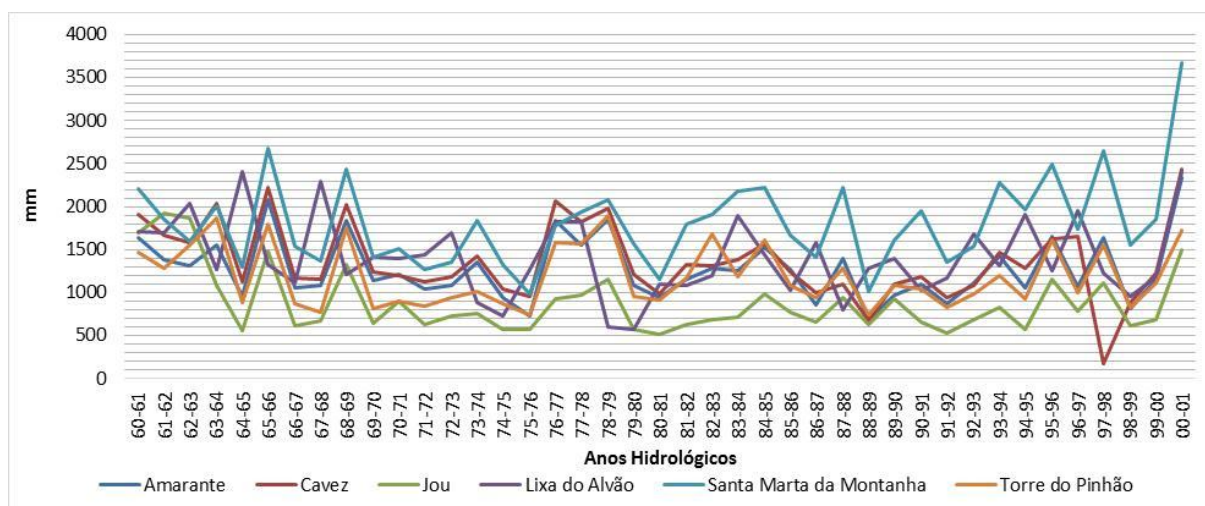


Figura 6.19. Precipitação anual (mm) na bacia do rio Corgo.

O cálculo da média do número de dias com precipitação superior a 1 mm mostrou-nos que é a estação de Santa Marta da Montanha que regista o valor mais elevado (120 dias). O valor mais baixo ocorre na estação de Jou, com 79 dias em média com precipitação superior a 1 mm.

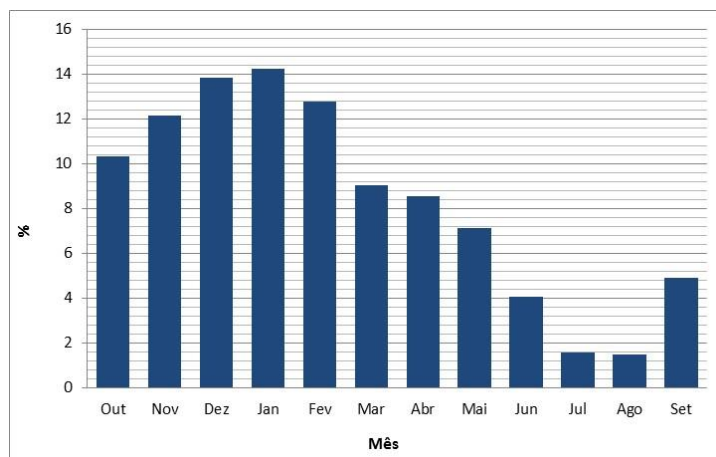


Figura 6.20. Precipitação média mensal na bacia do rio Corgo (%).

A par de Jou, também Lixa do Alvão e Torre do Pinhão têm uma média de dias com precipitação, inferior a 100 dias (Figura 6.2). O valor máximo absoluto do número de dias com precipitação superior a 1 mm observou-se na estação de Santa Marta da Montanha com 183 dias, no ano hidrológico de 2000/01. A distribuição da precipitação mensal, presente na Figura 6.20, mostra-nos que os valores mais elevados ocorrem nos meses de janeiro (14,2% do total de precipitação), dezembro (13,8%) e fevereiro (12,8%). Os meses de agosto e julho destacam-se pelos valores mais baixos, com 1,5% e 1,6%, respetivamente do total de precipitação mensal.

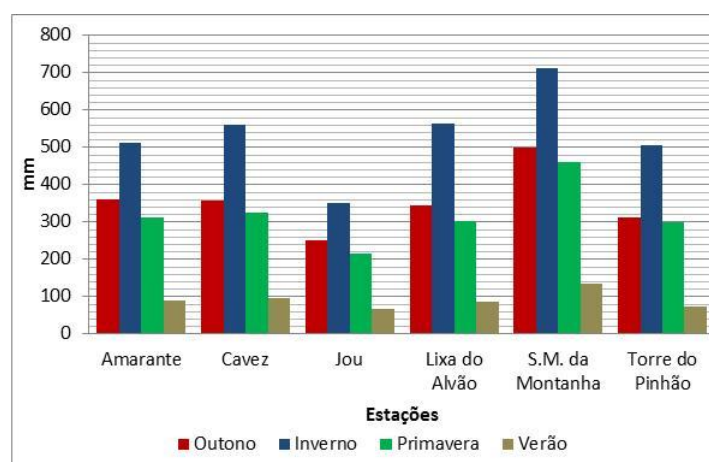


Figura 6.21. Precipitação média por estação do ano na bacia do rio Corgo.

É na estação de Santa Marta da Montanha que se registam os valores médios mais elevados de precipitação em qualquer estação do ano: no inverno é de 714 mm, no outono é de 501 mm e na primavera é de 462 mm. Apenas em Jou os valores médios de precipitação estão abaixo dos 500 mm no inverno. Em todas as estações os quantitativos de precipitação no outono são superiores aos registados na primavera, apesar de a diferença ser exígua. No verão, os valores médios estão abaixo dos 100 mm em todas as estações com exceção de Santa Marta da Montanha, com 136 mm (Figura 6.21).

O número médio de dias com precipitação  $\geq 1$  mm é no inverno de 35 dias, alcançando os 39 dias em Santa Marta da Montanha e em Jou, os 28 dias. Na primavera ocorrem em média 28 dias com precipitação  $\geq 1$  mm e no outono 26 dias. Nos meses de verão registam-se apenas 10 dias com precipitação (Figura 6.22).

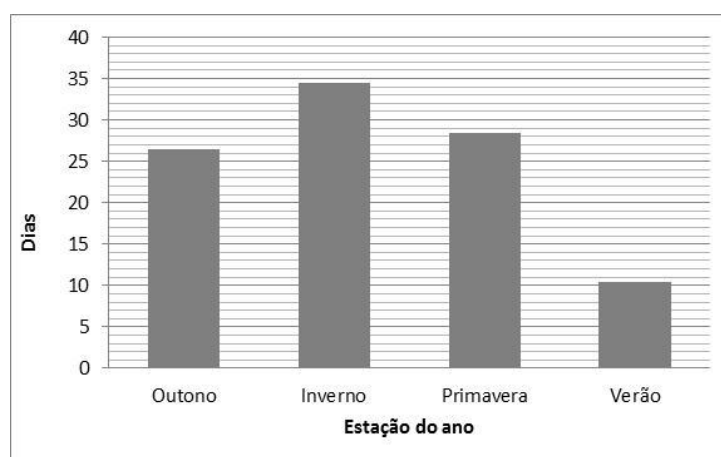


Figura 6.22. Número médio de dias com precipitação  $\geq 1$  mm, na bacia do rio Corgo.

#### 6.1.5. Bacia do rio Távora

Na análise à precipitação anual foram incluídas estações que se situam fora dos limites da região Norte, uma vez que parte da bacia também se localiza fora da região. O valor médio de precipitação anual foi de 693 mm. Os quantitativos de precipitação são dos mais baixos da região, uma vez que a bacia se situa na margem esquerda do rio Douro, nascendo o rio Távora, na Beira Alta, uma das regiões mais secas do país (Figura 6.1). Ervedosa, no concelho de Pinhel, tem o valor mais baixo de precipitação média anual, com 357 mm. O valor mais elevado de precipitação média anual registou-se em Aguiar da Beira, com 1246 mm de precipitação média anual. A precipitação máxima anual mais elevada também ocorreu na estação de Aguiar da



Beira, com 2061 mm, no ano hidrológico de 1965/66. Neste ano também se registaram os valores mais elevados nas estações de Celorico da Beira, Marialva e Folgares. O valor mais baixo de precipitação média anual ocorreu nas estações Ervedosa, com 67 mm, no ano hidrológico de 1966/67. Nas estações de Ervedosa, Pinhel, Marialva e Folgares não se assinalaram valores anuais superiores a 1000 mm durante todo o período em estudo. Do mesmo modo, em nenhuma estação da área em análise se registou ocorrência de anos com precipitação superior a 3000 mm (Figura 6.23).

O valor médio anual de dias com precipitação superior a 1 mm é de 80 dias na área envolvente à bacia do rio Távora. Apenas Aguiar da Beira apresenta uma média superior a 100 dias/ano, sendo a única estação que se situa a oeste da bacia, das estações em estudo. A média mais elevada é de 101 dias/ano, na estação de Aguiar da Beira e a média mais baixa é de 54 dias/ano em Ervedosa. O máximo de dias com precipitação superior a 1 mm ocorreu na estação de Aguiar da Beira com 144 dias/ano. Muito inferior é o valor máximo de Ervedosa com 85 dias/ano.

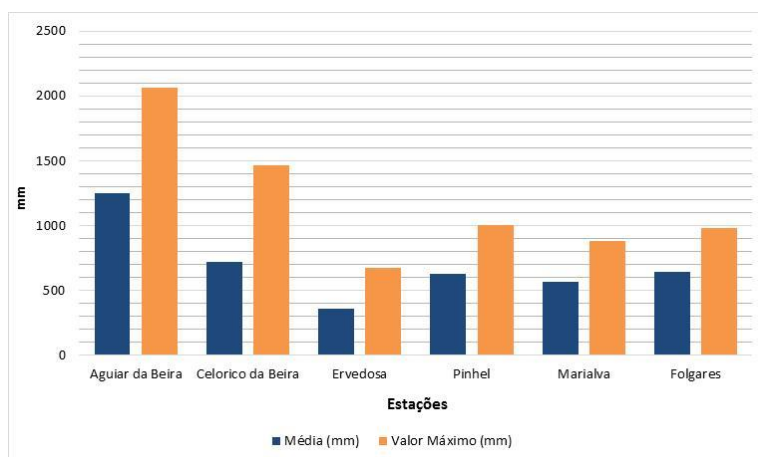


Figura 6.23. Precipitação média e máxima anual na bacia do rio Távora.

Nas estações analisadas constata-se uma dicotomia entre Aguiar da Beira e as restantes estações. A estação de Aguiar da Beira apresenta os valores mais elevados de precipitação anual, da área de estudo. Do lado oposto, destaca-se a estação de Ervedosa, com os valores mais baixos de precipitação anual. As estações de Pinhel, Marialva e Folgares apresentam o mesmo comportamento ao longo do período em estudo (Figura 6.24).

Na bacia do rio Távora é em dezembro que se registam os quantitativos de precipitação mais elevados (13,6% do total de precipitação). No entanto, este valor não é muito diferente do que se verifica em janeiro e em novembro, com respetivamente 13,3% e 12,8% do total de precipitação média mensal.

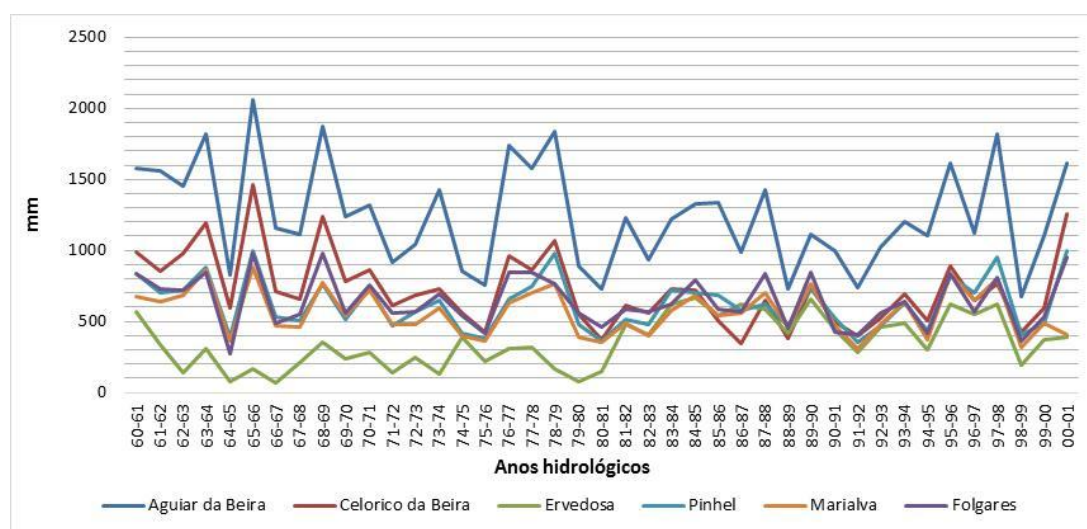


Figura 6.24. Precipitação anual (mm) na bacia do rio Távora.

Em março, regista-se 7,8% do total de precipitação e em abril 8,7% do total de precipitação média anual. Os valores mais baixos assinalam-se nos meses de verão, com mínimo em agosto, 11 mm de precipitação média mensal (1,6% do total da precipitação) (Figura 6.25). Se analisarmos os resultados por estação, verificamos que Aguilar da Beira apresenta os valores mais elevados de precipitação em todas as estações do ano. Deste modo, em Aguilar da Beira registam-se 507 mm de precipitação média no inverno. Nesta estação, os quantitativos rondam, no outono, os 310 mm e na primavera, os 295 mm de precipitação média (Figura 6.4 e Figura 6.26).

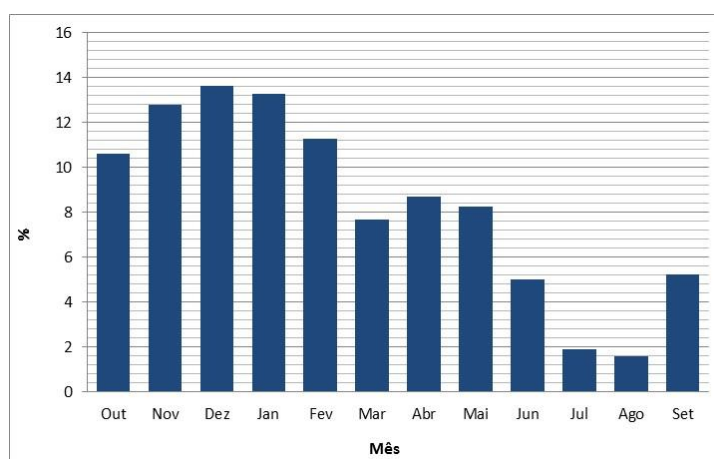


Figura 6.25. Precipitação média mensal na bacia do rio Távora (%).

As restantes estações apresentam quantitativos de precipitação bem mais baixos, inferiores a 300 mm no inverno. No outono e na primavera os valores situam-se abaixo dos 200 mm,

exceto na estação de Celorico da Beira (207 mm, no outono). No verão, a precipitação é mais elevada em Aguiar da Beira, com 85 mm e mais baixa em Ervedosa, com 38 mm (Figura 6.26). Relativamente à frequência média do número de dias com precipitação  $\geq 1$  mm, na área que abrange a bacia do Távora ocorrem no inverno, em média, 26 dias com precipitação. No entanto, na estação de Ervedosa este valor é de apenas 19 dias e na estação de Aguiar da Beira é de 35 dias. Na primavera, a média do número de dias com precipitação  $\geq 1$  mm é de 22 dias e no outono é de 21 dias. No verão ocorrem cerca de 8 dias com precipitação  $\geq 1$  mm (Figura 6.27).

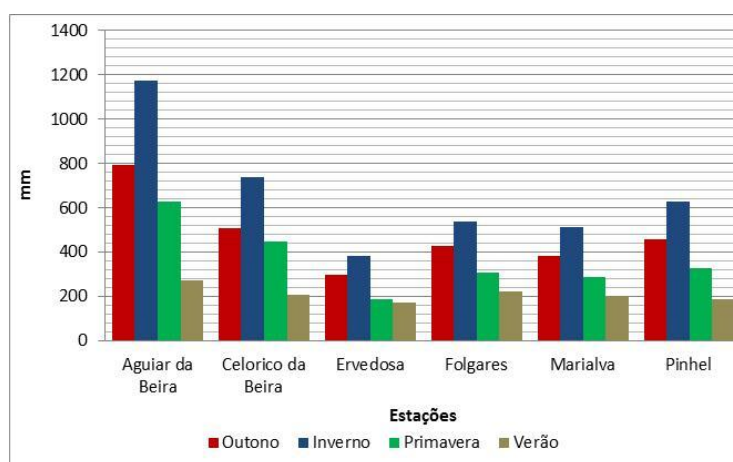


Figura 6.26. Precipitação média por estação do ano na bacia do rio Távora.

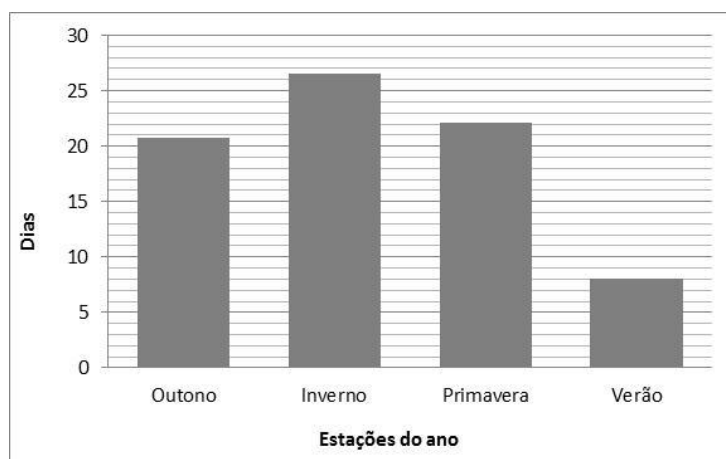


Figura 6.27. Número médio de dias com precipitação  $\geq 1$  mm, na bacia do rio Távora.

## 6.2. Tendências das precipitações anuais e sazonais

### 6.2.1. Região Norte

Os resultados da análise de tendência nas séries de precipitação anual mostram que em 83% das séries se verifica uma diminuição dos quantitativos de precipitação anual. No entanto, destas estações, apenas nove, apresentam resultados estatisticamente significativos (os valores a negrito representam as tendências estatisticamente significativas, no nível de significância de 5%): Leonte (-27,2 mm), Cerdeira (-23,6 mm), Aveleiras (-20,7 mm), Portelinha (-17,1 mm), Celas (-10,3 mm), Moncorvo (-8,9 mm), Avelanoso (-7 mm), Santa Marta da Montanha (-9 mm) e Fonte da Aldeia (-5,9 mm). As tendências negativas mais elevadas registam-se nas estações de Leonte (-27,2 mm/ano), Cerdeira (-23,6 mm/ano), Outeiro (-21,6 mm/ano) e Aveleiras (20,7 mm/ano). Todas estas estações se localizam nas montanhas do Noroeste (Figura 6.28).

*Quadro 6.2. Resultados do teste de tendência de Mann-Kendall (Teste Z) e do declive de Sen (tendência – mm/ano) para as séries anuais.*

Estação	Teste Z	Tendência mm/ano	Estação	Teste Z	Tendência mm/ano
Amarante	-0,78	-4,3	Fonte da Aldeia	<b>-2,41</b>	<b>-5,9</b>
Avelanoso	<b>-2,26</b>	<b>-7,0</b>	Gestosa	0,24	1,2
Aveleiras	<b>-2,10</b>	<b>-20,7</b>	Jou	-0,80	-3,2
Barcelos	-0,64	-3,5	Leonte	<b>-2,06</b>	<b>-27,2</b>
Barragem Castelo Burgães	-1,49	-8,7	Lixa do Alvão	-0,91	-5,5
Brancelhe	-1,25	-12,4	Moimenta da Raia	-1,38	-7,5
Britelo	-1,47	-8,6	Moncorvo	<b>-3,18</b>	<b>-8,9</b>
Caldelas	-0,26	-1,8	Outeiro	-1,76	-21,6
Campo de Vóboras	0,86	2,8	Peneda	0,00	-0,1
Casal Soeiro	-0,66	-4,6	Ponte da Barca	-0,53	-2,5
Cavez	-1,74	-9,3	Ponte de Lima	-1,00	-5,6
Celas	<b>-2,50</b>	<b>-10,3</b>	Portelinha	<b>-2,12</b>	<b>-17,1</b>
Cerdeira	<b>-2,44</b>	<b>-23,6</b>	Santa Marta da Montanha	<b>1,40</b>	<b>9,0</b>
Chaves	-0,89	-2,0	Tinhela	0,82	3,3
Deilão	-0,39	-1,7	Torre do Pinhão	0,15	0,8
Extremo	-1,40	-9,9	Travancas	-0,80	-2,9
Fafe	-0,51	-2,8	Viatodos	0,69	5,1
Folgares	-0,89	-2,2			

As tendências de aumento da precipitação anual foram identificadas em apenas seis estações e, em todos estes casos, sem significância estatística. Estas estações- Torre do Pinhão (0,8 mm/ano), Gestosa (1,2 mm/ano), Campo de Vóboras (2,8 mm/ano), Tinhela (3,3 mm/ano), Viatodos (5,1 mm/ano) e Santa Marta da Montanha (9 mm/ano) - localizam-se na parte Nordeste da região, com a exceção de Viatodos que se situa, no concelho de Vila Nova de Famalicão, na bacia do rio Ave (Quadro 6.2).

Deste modo, para o período 1960/61 a 2000/01, as tendências negativas e não significativas são predominantes na região. As tendências negativas e com significância estatística localizam-se no sector montanhoso do Noroeste, nas estações mais próximas da fronteira com Espanha (Figura 6.28). Estes resultados são consistentes com os obtidos por De Luis *et al.* (2009), Rodrigo (2010), Rodrigo & Trigo (2007), Santos & Fragoso (2013), onde predominantemente foram identificadas tendências negativas mas não significativas na maioria dos casos. Mais recentemente, Avó (2014) numa análise à distribuição espacial dos decis de precipitação em Portugal continental entre os períodos 1951-80 e de 1981-2010, identificou igualmente uma diminuição da precipitação, no Noroeste de Portugal, principalmente no inverno ao nível dos decis 1 e 9.

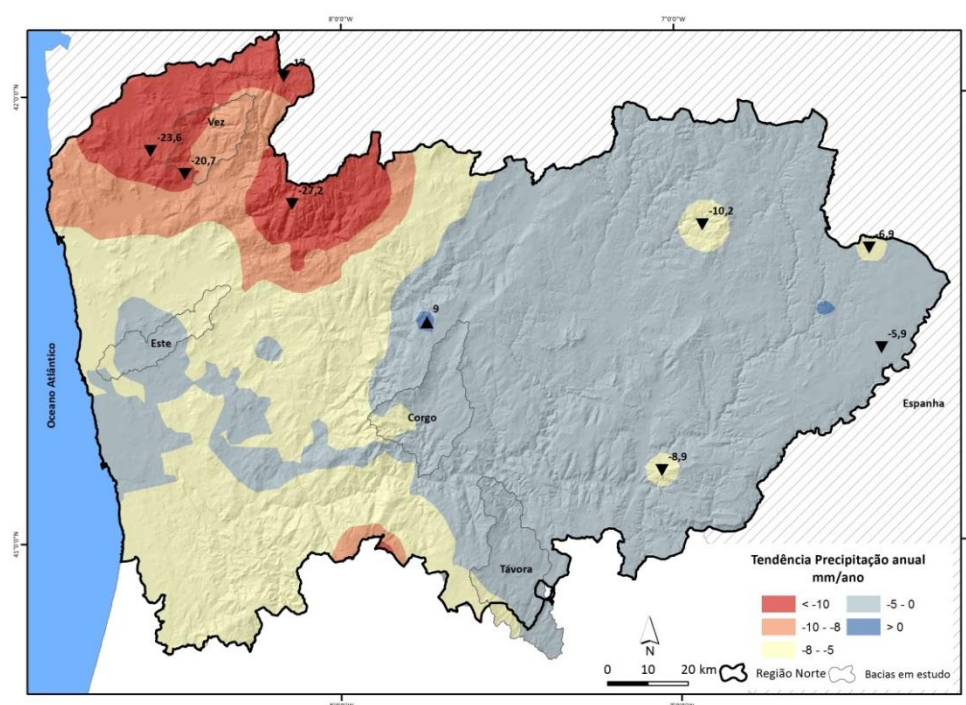


Figura 6.28. Tendência da precipitação anual. Os triângulos a preto representam a magnitude da tendência com significância estatística (5% de nível de significância).

Os resultados do teste de tendência para o outono indicam-nos que 65% das estações apresentam tendências positivas, no entanto só Santa Marta da Montanha exhibe resultados estatisticamente significativos (os valores a negrito, no Quadro, representam as tendências estatisticamente significativas, no nível de significância de 5%), com um aumento de 4,3 mm/ano. Das restantes estações, 30% mostram tendências negativas e Brancelhe não aparenta nenhuma tendência (0 mm/ano) (Quadro 6.3). A maioria das estações com tendências negativas situa-se no noroeste da região.

No inverno as tendências de precipitação sazonal são negativas, ou seja, a maioria das estações exibe resultados que mostram uma diminuição dos quantitativos de precipitação. As exceções são as estações de Viatodos (0,9 mm/ano) e Santa Marta da Montanha (3,5 mm/ano), apesar de não possuírem significado estatístico. Das estações com tendências negativas, destacam-se os resultados com significância estatística de Aveleiras com -9,2 mm/ano e Moncorvo com -4,2 mm/ano (Quadro 6.4).

Quadro 6.3. Resultados do Teste de tendência de Mann-Kendall (Teste Z) e do declive de Sen (tendência – mm/ano) para o outono.

Outono					
Estação	Teste Z	Tendência mm/ano	Estação	Teste Z	Tendência mm/ano
Amarante	0,43	0,81	Fonte da Aldeia	-0,15	-0,17
Avelanoso	-0,08	-0,08	Gestosa	0,81	1,15
Aveleiras	-0,55	-2,53	Jou	-0,06	-0,05
Barcelos	0,75	1,79	Leonte	-0,33	-1,14
B. Castelo Burgães	-0,30	-0,61	Lixa do Alvão	0,80	1,68
Brancelhe	0,00	0,00	Moimenta da Raia	0,17	0,45
Britelo	0,17	0,50	Moncorvo	-1,67	-2,19
Caldelas	0,86	2,31	Outeiro	0,31	1,09
Campo de Vóboras	1,65	2,11	Peneda	1,04	4,03
Casal Soeiro	0,39	1,23	Ponte da Barca	0,80	1,85
Cavez	0,30	0,63	Ponte de Lima	0,15	0,56
Celas	-0,51	-1,26	Portelinha	-0,84	-2,45
Cerdeira	-1,00	-4,06	<b>S. M. da Montanha</b>	<b>2,21</b>	<b>4,27</b>
Chaves	0,64	0,86	Tinhela	1,34	2,04
Deilão	0,78	0,92	Torre do Pinhão	1,72	2,71
Extremo	0,57	2,26	Travancas	0,39	0,70
Fafe	0,75	1,88	Viatodos	1,61	4,33
Folgares	-0,15	-0,16			

É, contudo, na primavera que encontramos mais estações com resultados estatisticamente significativos (os valores a negrito, no Quadro, representam as tendências estatisticamente significativas, no nível de significância de 5%). Todos estes resultados exibem tendências decrescentes da precipitação: Leonte (-7,3 mm/ano), Cerdeira (-7,6 mm/ano), Aveleiras (-5,8 mm/ano), Portelinha (-5,4 mm/ano), Lixa do Alvão (-4,8 mm/ano), Moncorvo (-2,2 mm/ano) e Avelanoso (-1,9 mm/ano). Apenas quatro estações apresentam tendências de aumento da precipitação, mas nenhuma é estatisticamente significativa (Quadro 6.5).

Quadro 6.4. Resultados do Teste de tendência de Mann-Kendall (Teste Z) e do declive de Sen (tendência – mm/ano) para o inverno.

Inverno					
Estação	Teste Z	Tendência mm/ano	Estação	Teste Z	Tendência mm/ano
Amarante	-0,86	-2,92	Fonte da Aldeia	-1,81	-2,55
Avelanoso	-1,68	-3,24	Gestosa	-0,24	-0,51
<b>Aveleiras</b>	<b>-1,99</b>	<b>-9,21</b>	Jou	-1,36	-3,03
Barcelos	-0,75	-3,97	Leonte	-1,70	-13,71
B. Castelo Burgães	-1,07	-5,48	Lixa do Alvão	-1,90	-7,93
Brancelhe	-1,20	-6,34	Moimenta da Raia	-1,29	-4,05
Britelo	-1,25	-5,93	<b>Moncorvo</b>	<b>-2,85</b>	<b>-4,23</b>
Caldelas	-0,53	-2,06	Outeiro	-1,27	-8,01
Campo de Vóboras	-0,24	-0,31	Peneda	-0,37	-3,28
Casal Soeiro	-0,84	-4,01	Ponte da Barca	-0,39	-2,12
Cavez	-1,34	-4,91	Ponte de Lima	-0,81	-4,37
Celas	-1,52	-4,75	Portelinha	-1,61	-7,77
Cerdeira	-1,58	-9,76	S. M. da Montanha	0,62	3,54
Chaves	-1,02	-1,85	Tinhela	-0,03	-0,06
Deilão	-0,93	-1,66	Torre do Pinhão	-0,78	-2,36
Extremo	-0,95	-5,95	Travancas	-1,00	-2,31
Fafe	-0,62	-2,95	Viatodos	0,12	0,91
Folgares	-1,45	-2,25			

Quadro 6.5. Resultados do Teste de tendência de Mann-Kendall (Teste Z) e do declive de Sen (tendência – mm/ano) para a primavera.

Primavera					
Estação	Teste Z	Tendência mm/ano	Estação	Teste Z	Tendência mm/ano
Amarante	-1,18	-1,80	Fonte da Aldeia	-1,65	-1,69
Avelanoso	<b>-2,21</b>	<b>-1,85</b>	Gestosa	0,42	0,37
Aveleiras	<b>-2,06</b>	<b>-5,83</b>	Jou	-0,86	-0,78
Barcelos	-0,82	-1,50	Leonte	<b>-2,15</b>	<b>-7,26</b>
B. Castelo Burgães	-1,27	-2,76	Lixa do Alvão	<b>-2,46</b>	<b>-4,84</b>
Brancelhe	-1,52	-3,32	Moimenta da Raia	-1,13	-1,80
Britelo	-1,13	-1,98	Moncorvo	-2,77	-2,15
Caldelas	-0,24	-0,30	Outeiro	-1,43	-4,96
Campo de Vóboras	-0,15	-0,08	Peneda	-0,21	-1,10
Casal Soeiro	-0,89	-1,79	Ponte da Barca	-0,60	-1,16
Cavez	-1,94	-3,52	Ponte de Lima	-1,31	-1,88
Celas	-1,42	-2,19	Portelinha	<b>-2,39</b>	<b>-5,37</b>
Cerdeira	<b>-2,80</b>	<b>-7,58</b>	S. M. da Montanha	0,08	0,37
Chaves	-0,58	-0,64	Tinhela	0,62	0,93
Deilão	-0,35	-0,33	Torre do Pinhão	-0,57	-1,03
Extremo	-1,58	-4,17	Travancas	-0,30	-0,55
Fafe	-0,42	-1,00	Viatodos	0,55	1,11
Folgares	-0,12	-0,14			

No verão, não existe nenhuma tendência com significância estatística, sendo que a maioria das séries sazonais (71%) apresenta tendências negativas (Quadro 6.6).



Quadro 6.6. Resultados do Teste de tendência de Mann-Kendall (Teste Z) e do declive de Sen (tendência – mm/ano) para o verão.

Verão					
Estação	Teste Z	Tendência mm/ano	Estação	Teste Z	Tendência mm/ano
Amarante	-0,98	-0,46	Fonte da Aldeia	-0,99	-0,61
Avelanoso	-0,37	-0,21	Gestosa	-0,35	-0,19
Aveleiras	0,12	0,18	Jou	-1,47	-0,80
Barcelos	0,33	0,30	Leonte	-0,75	-1,51
B. Castelo Burgães	-0,12	-0,06	Lixa do Alvão	-0,69	-0,25
Brancelhe	-0,46	-0,42	Moimenta da Raia	0,12	0,04
Britelo	-0,66	-0,65	Moncorvo	-1,11	-0,47
Caldelas	-0,01	-0,03	Outeiro	-0,95	-0,90
Campo de Vóboras	-0,09	-0,03	Peneda	-0,06	-0,08
Casal Soeiro	0,06	0,05	Ponte da Barca	-0,17	-0,13
Cavez	-1,21	-0,97	Ponte de Lima	0,86	0,70
Celas	-0,92	-0,75	Portelinha	-0,42	-0,34
Cerdeira	-0,76	-0,66	S. M. da Montanha	0,91	0,94
Chaves	-0,13	-0,04	Tinhela	-0,20	-0,17
Deilão	-0,48	-0,35	Torre do Pinhão	-0,60	-0,41
Extremo	-0,33	-0,46	Travancas	-0,80	-0,46
Fafe	0,37	0,23	Viatodos	0,55	0,36
Folgares	-0,75	-0,37			

### 6.2.2. Bacia do rio Vez

Todas as estações localizadas na área da bacia do rio Vez apresentam tendências decrescentes da precipitação anual. As estações localizadas nesta área têm as tendências negativas mais acentuadas de toda a região Norte. No entanto, apenas Aveleiras, Cerdeira, Leonte e Portelinha exibem resultados estatisticamente significativos (Figura 6.28 e Figura 6.29). Destas estações, Leonte apresenta uma tendência de -27,2 mm/ano, Cerdeira de -23,6 mm/ano, Aveleiras de -20,7/ano e Portelinha de -17,1 mm/ano. Nas restantes estações (Casal Soeiro, Extremo, Peneda, Ponte da Barca e Ponte de Lima) não se identificaram tendências com relevância estatística.

Se analisarmos os resultados por estações do ano, podemos verificar que no outono nenhuma estação apresenta tendências estatisticamente significativas, sendo que as estações de Cerdeira, Aveleiras, Portelinha e Leonte têm tendências decrescentes, e as restantes apresentam tendências de aumento da precipitação no outono (Quadro 6.7). No inverno, todas as estações exibem tendências decrescentes da precipitação. No entanto, apenas a estação de Aveleiras tem um resultado estatisticamente significativo, com uma diminuição da

precipitação de -9,2 mm/ano (Quadro 6.7: os valores a negrito representam as tendências estatisticamente significativas, no nível de significância de 5%). Também na primavera a tendência é negativa em todas as estações, sendo que Aveleiras, Cerdeira e Leonte apresentam uma diminuição, com significância estatística, de -5,8 mm/ano, -7,6 mm/ano e -7,3 mm/ano, respectivamente (Quadro 6.7). Na estação seca, os resultados do teste de tendência mostram que os valores são quase insignificantes e em nenhuma estação os resultados apresentam significância estatística (Quadro 6.7).

Quadro 6.7. Resultados do teste de tendência de Mann-Kendall (Teste Z) e do declive de Sen (tendência – mm/ano) para as estações da bacia do rio Vez.

Outono			Inverno		
Estação	Teste Z	Tendência mm/ano	Estação	Teste Z	Tendência mm/ano
Aveleiras	-0,55	-2,53	Aveleiras	<b>-1,99</b>	<b>-9,21</b>
Britelo	0,17	0,50	Britelo	-1,25	-5,93
Casal Soeiro	0,39	1,23	Casal Soeiro	-0,84	-4,01
Cerdeira	-1,00	-4,06	Cerdeira	-1,58	-9,76
Extremo	0,57	2,26	Extremo	-0,95	-5,95
Leonte	-0,55	-1,84	Leonte	-1,54	-8,51
Peneda	1,04	4,03	Peneda	-0,37	-3,28
Ponte da Barca	0,80	1,85	Ponte da Barca	-0,39	-2,12
Ponte de Lima	0,15	0,56	Ponte de Lima	-0,81	-4,37
Portelinha	-0,84	-2,45	Portelinha	-1,61	-7,77
Primavera			Verão		
Estação	Teste Z	Tendência mm/ano	Estação	Teste Z	Tendência mm/ano
Aveleiras	<b>-2,06</b>	<b>-5,83</b>	Aveleiras	0,12	0,18
Britelo	-1,13	-1,98	Britelo	-0,66	-0,65
Casal Soeiro	-0,89	-1,79	Casal Soeiro	0,06	0,05
Cerdeira	<b>-2,80</b>	<b>-7,58</b>	Cerdeira	-0,76	-0,66
Extremo	-1,58	-4,17	Extremo	-0,33	-0,46
Leonte	-1,38	-5,03	Leonte	-0,60	-1,03
Peneda	-0,21	-1,10	Peneda	-0,06	-0,08
Ponte da Barca	-0,60	-1,16	Ponte da Barca	-0,17	-0,13
Ponte de Lima	-1,31	-1,88	Ponte de Lima	0,86	0,70
Portelinha	-2,39	-5,37	Portelinha	-0,42	-0,34

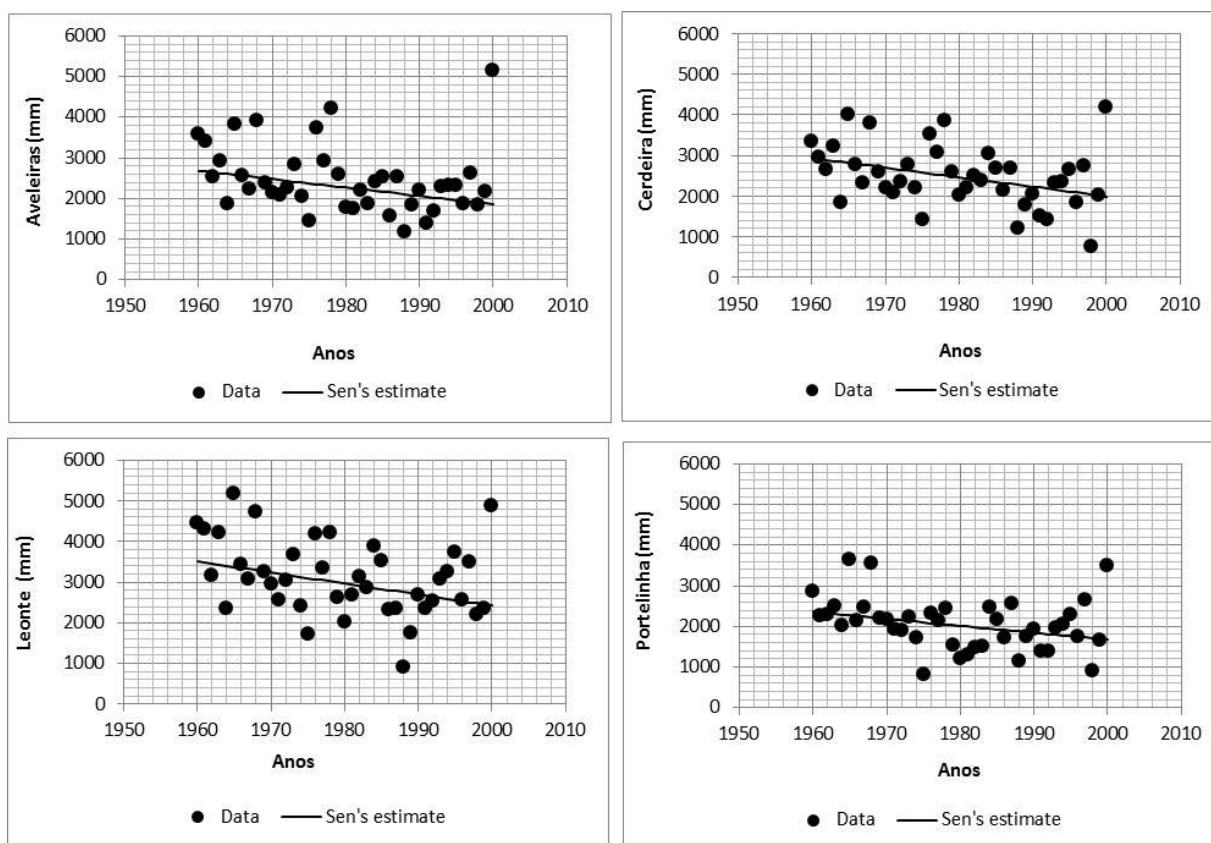


Figura 6.29. Precipitação anual e declive de Sen para uma tendência linear para as estações cujos resultados apresentam significância estatística: Aveleiras, Cerdeira, Leonte e Portelinha.

### 6.2.3. Bacia do rio Este

Na área da bacia do rio Este encontramos tendências decrescentes da precipitação anual, nas estações de Barcelos (-3,5 mm/ano), Caldelas (-1,8 mm/ano) e Fafe (-2,8 mm/ano). Os valores de tendência são baixos, além de não serem estatisticamente significativos. A estação de Viatodos apresenta uma tendência crescente da precipitação anual, de 5,1 mm/ano ou 51 mm/década, mas sem significância estatística.

Os resultados do teste de tendência por estações do ano mostram que nenhuma estação exhibe resultados estatisticamente significativos. A estação de Viatodos tem tendências positivas em todas as estações do ano. No outono, a tendência é de aumento da precipitação em todas as estações, e no inverno a tendência é de diminuição da precipitação, com a exceção de Viatodos. O mesmo se verifica na primavera. No verão as tendências são exíguas (Quadro 6.8).

Quadro 6.8. Resultados do teste de tendência de Mann-Kendall (Teste Z) e do declive de Sen (tendência – mm/ano) para as estações da bacia do rio Este.

Outono			Inverno		
Estação	Teste Z	Tendência mm/ano	Estação	Teste Z	Tendência mm/ano
Barcelos	0,75	1,79	Barcelos	-0,75	-3,97
Caldelas	0,86	2,31	Caldelas	-0,53	-2,06
Fafe	0,75	1,88	Fafe	-0,62	-2,95
Viatodos	1,61	4,33	Viatodos	0,12	0,91
Primavera			Verão		
Estação	Teste Z	Tendência mm/ano	Estação	Teste Z	Tendência mm/ano
Barcelos	-0,82	-1,50	Barcelos	0,33	0,30
Caldelas	-0,24	-0,30	Caldelas	-0,01	-0,03
Fafe	-0,42	-1,00	Fafe	0,37	0,23
Viatodos	0,55	1,11	Viatodos	0,55	0,36

#### 6.2.4. Bacia do rio Corgo

Os resultados do teste de tendência nas séries de precipitação anual mostram que as estações de Amarante (-4,3 mm/ano), Cavez (-9,3 mm/ano), Jou (-3,2 mm/ano) e Lixa do Alvão (-5,5 mm/ano) apresentam tendências negativas e as estações de Santa Marta da Montanha (9 mm/ano) e Torre do Pinhão (0,8 mm/ano) têm tendências positivas. Porém, estes resultados não são estatisticamente significativos.

Na área da bacia, no outono, apenas Jou apresenta uma tendência negativa, mas sem significância estatística. Das estações com tendências crescentes da precipitação no outono, apenas Santa Marta da Montanha exibe uma tendência com significado estatístico de 4,3 mm/ano. No inverno e no verão, as tendências são de diminuição da precipitação, sem significância estatística, em todas as estações, com a exceção de Santa Marta da Montanha que apresenta tendências positivas. Na primavera, a estação de Lixa do Alvão ostenta um resultado com significância estatística de -4,8 mm/ano. As restantes estações, com tendências negativas, exceto Santa Marta da Montanha, não têm significado estatístico (Quadro 6.9: os valores a negrito representam as tendências estatisticamente significativas, no nível de significância de 5%).

Quadro 6.9. Resultados do teste de tendência de Mann-Kendall (Teste Z) e do declive de Sen (tendência – mm/ano) para as estações da bacia do rio Corgo.

Outono			Inverno		
Estação	Teste Z	Tendência mm/ano	Estação	Teste Z	Tendência mm/ano
Amarante	0,43	0,81	Amarante	-0,86	-2,92
Cavez	0,30	0,63	Cavez	-1,34	-4,91
Jou	-0,06	-0,05	Jou	-1,36	-3,03
Lixa do Alvão	0,80	1,68	Lixa do Alvão	-1,90	-7,93
Santa Marta da Montanha	<b>2,21</b>	<b>4,27</b>	Santa Marta da Montanha	0,62	3,54
Torre do Pinhão	1,72	2,71	Torre do Pinhão	-0,78	-2,36
Primavera			Verão		
Estação	Teste Z	Tendência mm/ano	Estação	Teste Z	Tendência mm/ano
Amarante	-1,18	-1,80	Amarante	-0,98	-0,46
Cavez	-1,94	-3,52	Cavez	-1,21	-0,97
Jou	-0,86	-0,78	Jou	-1,47	-0,80
Lixa do Alvão	<b>-2,46</b>	<b>-4,84</b>	Lixa do Alvão	-0,69	-0,25
Santa Marta da Montanha	0,08	0,37	Santa Marta da Montanha	0,91	0,94
Torre do Pinhão	-0,57	-1,03	Torre do Pinhão	-0,60	-0,41

### 6.2.5. Bacia do rio Távora

O teste de tendência às séries de precipitação anual na área da bacia do rio Távora revelou uma tendência decrescente da precipitação anual na maioria das estações (90%), embora apenas na estação de Celorico da Beira, os resultados tenham sido estatisticamente significativos. Nesta estação verifica-se uma tendência decrescente de -8,5 mm/ano. A estação de Ervedosa (8,5 mm/ano) apresenta uma tendência positiva, com significância estatística (Figura 6.30). Os resultados por estações do ano corroboram os resultados da tendência da precipitação anual. Assim, a estação de Ervedosa apresenta tendências de aumento da precipitação em todas as estações do ano, sendo os resultados estatisticamente significativos, no outono (2,5 mm/ano), inverno (2,5 mm/ano), e primavera (2,5 mm/ano). No inverno, a estação de Celorico da Beira também apresenta um resultado estatisticamente significativo, mas com uma tendência de diminuição da precipitação de -4,6 mm/ano. As restantes estações, não detêm significância estatística, apresentando a maioria, tendências de diminuição da precipitação em todas as estações do ano (Quadro 6.10: os valores a negrito representam as tendências estatisticamente significativas, no nível de significância de 5%).).

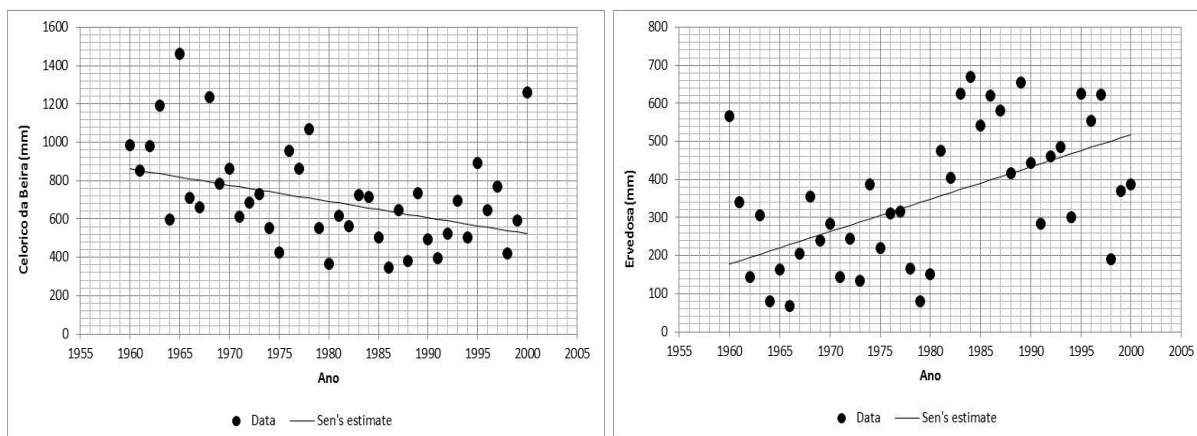


Figura 6.30. Precipitação anual e declive de Sen para uma tendência linear para as estações cujos resultados apresentam significância estatística: Celorico da Beira e Ervedosa.

Quadro 6.10. Resultados do Teste de tendência de Mann-Kendall (Teste Z) e do declive de Sen (tendência – mm/ano) para as estações da bacia do rio Távora.

Outono			Inverno		
Estação	Teste Z	Tendência mm/ano	Estação	Teste Z	Tendência mm/ano
Aguiar da Beira	-0,01	-0,05	Aguiar da Beira	-1,18	-4,62
Celorico da Beira	-1,02	-1,34	Celorico da Beira	<b>-2,38</b>	<b>-4,65</b>
Ervedosa	<b>2,44</b>	<b>2,46</b>	Ervedosa	<b>2,03</b>	<b>2,39</b>
Folgares	-0,15	-0,16	Folgares	-1,45	-2,25
Marialva	-0,46	-0,45	Marialva	-0,55	-0,89
Pinhel	-0,46	-0,41	Pinhel	-0,37	-0,62
Primavera			Verão		
Estação	Teste Z	Tendência mm/ano	Estação	Teste Z	Tendência mm/ano
Aguiar da Beira	-1,16	-1,75	Aguiar da Beira	-1,20	-0,93
Celorico da Beira	-1,21	-1,58	Celorico da Beira	-1,03	-0,49
<b>Ervedosa</b>	<b>2,89</b>	<b>2,39</b>	Ervedosa	0,85	0,32
Folgares	-0,12	-0,14	Folgares	-0,75	-0,37
Marialva	-1,09	-0,81	Marialva	0,24	0,09
Pinhel	0,12	0,09	Pinhel	-0,72	-0,27

### 6.3. Conclusão

Neste capítulo abordamos as características de precipitação anual e mensal na região Norte e nas bacias em estudo, no período temporal de 1960/61 a 2000/01. Os resultados para a região Norte mostram uma forte variabilidade temporal da precipitação anual. A variabilidade espacial também está bem patente, sendo que são as estações que se encontram a maior altitude as que apresentam maiores quantitativos de precipitação anual. O noroeste é a área onde se registam precipitações anuais mais elevadas, principalmente nas montanhas, não

muito afastadas do litoral. À medida que caminhamos para o interior os quantitativos de precipitação vão diminuindo, devido sobretudo a uma diminuição da intensidade e frequência da penetração das massas de ar atlânticas e também em consequência do efeito de abrigo gerado pela distribuição das massas de relevo, em particular as montanhas do Noroeste e das serras do Marão e do Alvão (Daveau, 1977; Ferreira, 2005). O número de dias com precipitação  $\geq$  a 1 mm também vai diminuindo à medida que avançamos para o interior. Ao longo do período de estudo, também se constata uma tendência decrescente da precipitação anual na maioria das estações. A precipitação mensal começa a aumentar em setembro, culminando com os valores mais elevados nos meses de dezembro e janeiro. Os meses com valores de precipitação mais baixos são julho e agosto.

Na análise à precipitação anual das bacias de estudo podemos concluir que:

- As estações situadas na área da bacia do Vez apresentam os valores mais elevados de precipitação anual da região Norte. Nesta área também se constata uma grande variabilidade entre as estações que se encontram a diferentes altitudes;
- Na área da bacia do rio Este os quantitativos de precipitação anual e mensal são relativamente aproximados entre as quatro séries em estudo;
- Na bacia do rio Corgo, os quantitativos de precipitação anual são os mais próximos da média da região Norte. Nesta bacia os valores de precipitação são condicionados pela disposição e localização das serras do Alvão e do Marão;
- Os valores de precipitação anual na bacia do rio Távora são dos mais baixos das quatro bacias de estudo. As estações localizam-se na Beira Alta, a sul do rio Douro, numa das regiões mais secas do país;
- O número médio de dias com precipitação  $\geq$  a 1 mm é, em todas as bacias, superior no inverno. A primavera apresenta mais dias com precipitação do que o outono;

A avaliação de tendência das séries sazonais de precipitação e apenas no que diz respeito aos resultados com significância estatística revelaram, uma evolução no sentido da diminuição da precipitação, sobretudo no inverno e na primavera.





## Capítulo 7. Precipitações diárias e máximas diárias

### 7.1. Região Norte

#### 7.1.1. Estatística descritiva das PD

Os quantitativos médios de precipitação dos dias com precipitação  $\geq 1$  mm na região Norte são de 14 mm, sendo na estação de Peneda de 23 mm e na estação de Moncorvo de 8 mm. As diferenças entre as estações são bem visíveis na Figura 7.1. As estações de Moncorvo, Fonte da Aldeia, Folgares, Campo de Víboras, Avelanoso e Chaves apresentam uma média de precipitação diária inferior a 9 mm (Figura 7.1 e Quadro 7.1). Do lado oposto estão as estações com mais de 17 mm de precipitação média diária: Extremo, Outeiro, Aveleiras, Cerdeira, Leonte e Peneda. As estações com as médias mais baixas localizam-se nas áreas de Trás-os-Montes e Alto Vale do Douro, enquanto as estações com as médias mais elevadas, localizam-se no Noroeste da região, ou seja, nas montanhas do Alto Minho (estações na Figura 7.1 ordenadas por ordem crescente dos valores médios).

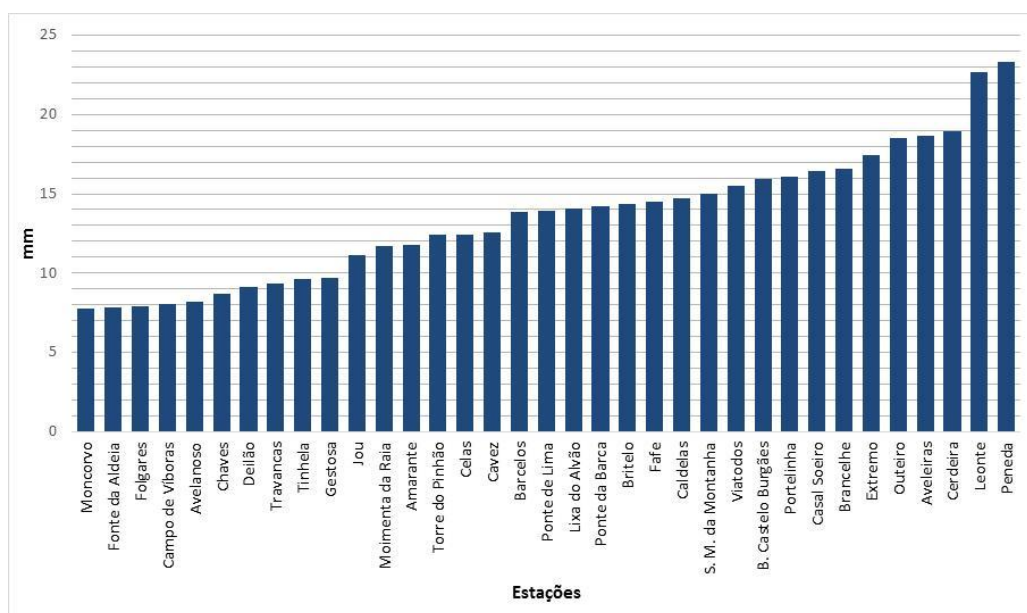


Figura 7.1. Precipitação média diária na região Norte.

O valor mais elevado de precipitação diária registou-se em Outeiro, na serra do Gerês com 242 mm, no dia 8 de Dezembro de 1978 (Quadro 7.1). A mediana em todas as estações é inferior à média o que significa que esta é influenciada pelos valores mais elevados. O coeficiente de

variação diz-nos que são as estações de Outeiro, Aveleiras, Leonte e Cerdeira que apresentam maiores variações dos dados diários (Quadro 7.1).

Quadro 7.1. Estatística descritiva das precipitações diárias.

Nome	Valor Máximo (mm)	Valor mínimo (mm)	Média (mm)	Mediana (mm)	Desvio Padrão mm)	Coef. de variação (%)
Amarante	108,0	1,0	11,8	7,5	12,2	104
Avelanoso	65,0	1,0	8,2	5,0	8,6	105
Aveleiras	195,0	1,0	18,7	10,9	22,1	118
Barcelos	115,0	1,0	13,8	9,0	14,3	103
B. Castelo Burgães	203,5	1,0	16,0	10,1	17,0	107
Brancelhe	158,8	1,0	16,6	11,2	15,9	96
Britelo	133,0	1,0	14,3	9,2	14,7	103
Caldelas	125,4	1,0	14,7	9,6	15,4	105
Campo de Vóboras	80,4	1,0	8,0	5,3	7,5	94
Casal Soeiro	168,5	1,0	16,4	10,2	18,2	111
Cavez	110,0	1,0	12,6	9,0	12,3	98
Celas	150,2	1,0	12,4	8,1	13,1	106
Cerdeira	204,1	1,0	19,0	11,4	21,6	114
Chaves	64,0	1,0	8,7	5,5	8,9	103
Deilão	71,0	1,0	9,1	6,0	9,1	100
Extremo	223,0	1,0	17,5	10,0	19,7	113
Fafe	162,8	1,0	14,5	9,4	15,3	105
Folgares	93,5	1,0	7,9	4,9	8,3	105
Fonte da Aldeia	111,6	1,0	7,9	5,2	8,1	103
Gestosa	98,5	1	9,7	6,4	9,7	100
Jou	99,0	1,0	11,1	7,5	11,3	102
Leonte	219,1	1,0	22,7	12,7	26,4	116
Lixa do Alvão	160,3	1,0	14,1	9,0	15,2	108
Moimenta da Raia	135,6	1,0	11,7	7,3	12,6	107
Moncorvo	65,0	1,0	7,8	5,4	7,5	97
Outeiro	242,0	1,0	18,5	10,0	21,9	118
Peneda	200,0	1,0	23,3	13,6	25,3	108
Ponte da Barca	123,0	1,0	14,2	8,8	15,1	106
Ponte de Lima	119,3	1,0	14,0	9,5	14,2	101
Portelinha	176,0	1,0	16,1	10,0	17,7	110
S. M. da Montanha	130,0	1,0	15,0	9,4	16,2	108
Tinhela	135,0	1,0	9,6	6,2	10,5	109
Torre do Pinhão	175,0	1,0	12,4	8,1	12,9	104
Travancas	91,9	1,0	9,3	6,1	9,4	101
Viatodos	120,8	1,0	15,5	10,4	15,3	99

Na Figura 7.2 apresenta-se a repartição dos dias de precipitação ( $P \geq 1$  mm), em termos percentuais e em nove classes de abundância diária: 1 a 10 mm; 10,1 a 20 mm; 20,1 a 30 mm; 30,1 a 40 mm; 40,1 a 50 mm; 50,1 a 60 mm; 60,1 a 70 mm; 70,1 a 80 mm; > 80 mm. Para uma

mais fácil leitura, as estações estão ordenadas de acordo com a percentagem registada na classe mais elevada (precipitação  $\geq 80$  mm). Nas estações localizadas no Noroeste da região, nomeadamente na serra da Peneda-Gerês, as classes de maior abundância assumem uma importância considerável na estrutura dos dias chuvosos. Estas estações ostentam uma percentagem superior a 3% de dias com precipitação superior a 80 mm. Se agruparmos as três classes mais elevadas (com precipitação superior a 60,1 mm) verificamos que estes dias são superiores a 6% na frequência dos dias chuvosos.

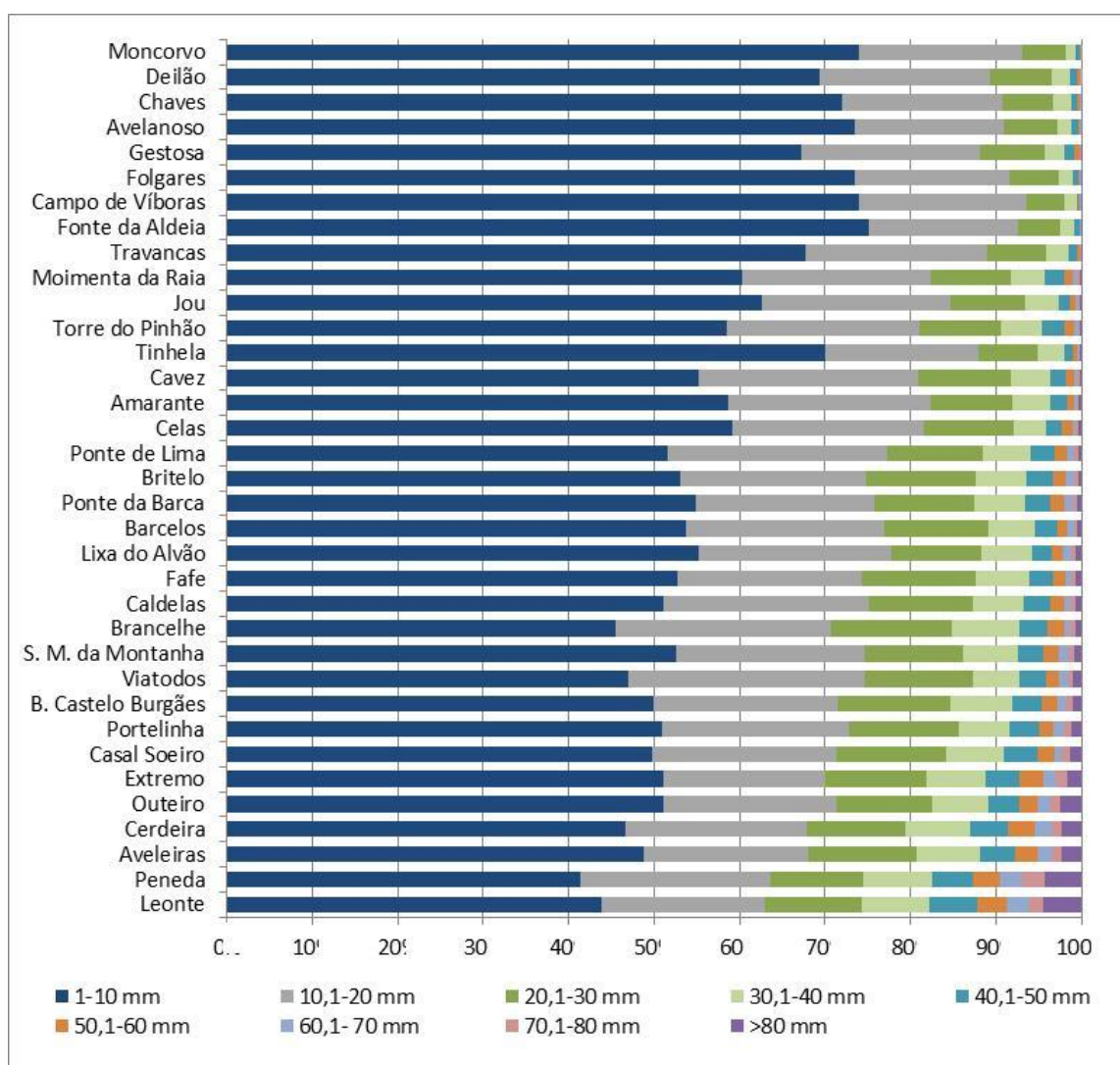


Figura 7.2. Repartição dos dias com precipitação ( $P \geq 1$ mm), em nove classes de abundância diária.

Ao contrário do que acontece no Noroeste, nas estações em Trás-os-Montes, os dias com precipitação superior a 60 mm são pouco frequentes (menos de 1% dos dias). É o que acontece nas estações localizadas na depressão de Chaves e vale da Vilariça. Deste modo,

podemos verificar que as estações da região Norte apresentam uma elevada proporção dos dias com precipitação inferior a 10 mm, em média 60% dos dias. As classes que agrupam os dias mais chuvosos apresentam uma maior proporção nas estações com maior altitude, principalmente nas montanhas do Noroeste (Figura 7.2)

### 7.1.2. Concentração diária da precipitação

Segundo Sánchez-Lorenzo & Martín-Vide (2006) um valor de 0,61 de concentração diária da precipitação (CI) corresponde à concentração de 70% do total de chuvas em 25% dos dias mais chuvosos. Os resultados do índice de CI, aplicados às séries de precipitação diária da região Norte variam entre 0,51 em Tinhela e Brancelhe e 0,58 em Leonte. Comparando os resultados do CI (estações na Figura 7.3 ordenadas por ordem crescente dos valores de CI), conferimos que são as estações de Leonte (0,585), Fafe (0,580), Barragem Castelo Burgães (0,578), Caldelas (0,573) e Extremo (0,573) que apresentam valores mais elevados. Em oposição, a concentração da precipitação diária é menor nas estações de Tinhela (0,510), Brancelhe (0,514) e Viatodos (0,516) (Figura 7.3).

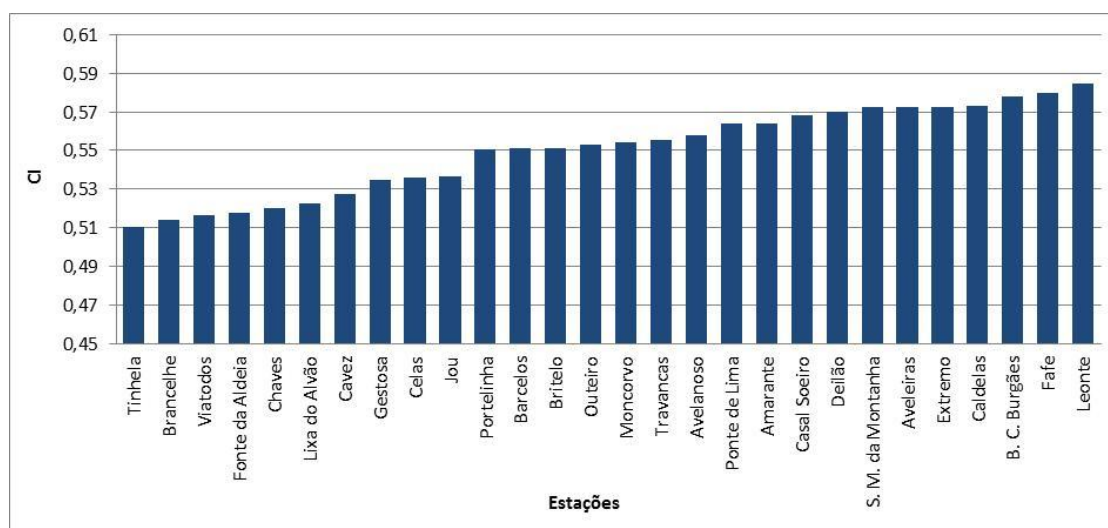


Figura 7.3. Índice de concentração diária da precipitação anual.

Os resultados obtidos são idênticos aos obtidos em trabalhos semelhantes. Sánchez-Lorenzo & Martín-Vide (2006) num trabalho aplicado à Península Ibérica obtiveram valores de CI entre 0.55 em Orense e 0,70 em Valencia, no período 1951-1990. Num estudo mais recente, Cortesi *et al.* (2012) calcularam o CI para 532 estações na Europa com dados diários, entre 1971 e 2010, expondo para as estações localizadas na região norte de Portugal, valores de CI entre

0,57 e 0,61. A região Norte apresenta valores de CI baixos comparativamente com os resultados encontrados na bacia do Mediterrâneo ocidental, ao longo do litoral leste de Espanha e litoral sul da França, onde a precipitação é bastante concentrada (Cortesi *et al.*, 2012). Na Figura 7.4 estão patentes os resultados por estações do ano. Deste modo, é possível verificar que a concentração da precipitação é mais elevada nos meses de verão e mais baixa nos meses de inverno.

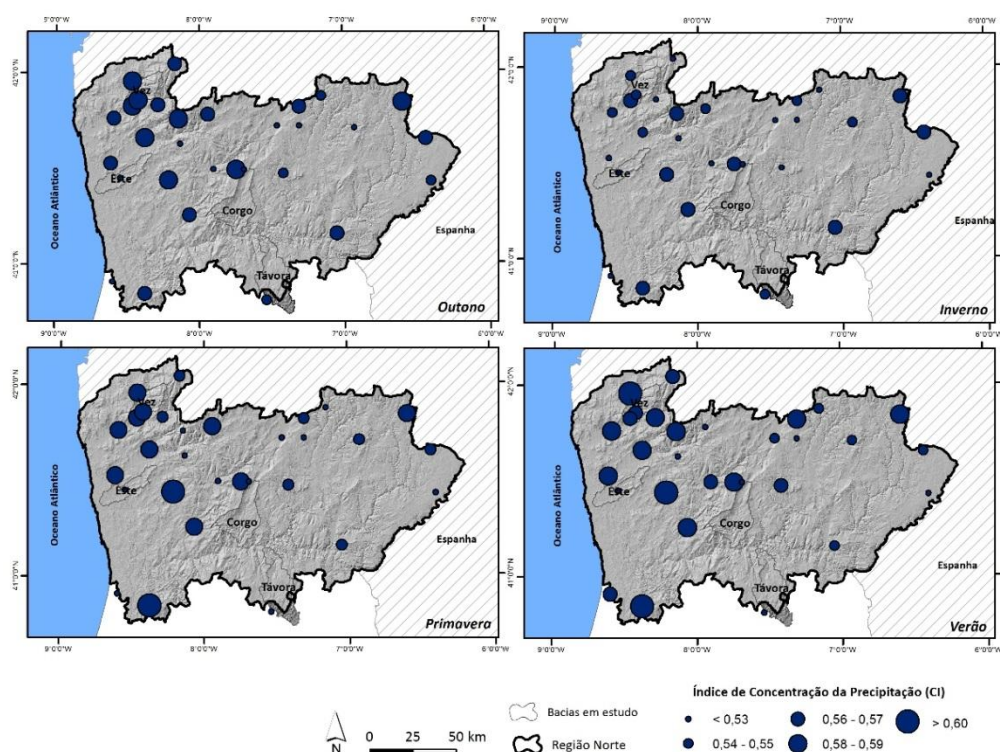


Figura 7.4. Índice de concentração diária da precipitação sazonal.

No verão as estações de Extremo, Fafe e Barragem de Castelo Burgães apresentam uma concentração diária superior a 0,60. As estações localizadas no Noroeste da região apresentam valores mais elevados do que as estações localizadas no interior, nomeadamente na depressão de Chaves. No outono e na primavera os valores de concentração diária são idênticos (Figura 7.4).

### 7.1.3. Índices de Extremos

Os índices de extremos analisados foram a quantidade máxima de precipitação em 1 e 5 dias, o índice simples de intensidade diária, o número de dias com precipitação  $\geq$  a 10, 20 e 50 mm,



o número máximo de dias com precipitação consecutivos, a precipitação superior ao percentil 95 (dias muito húmidos) e a precipitação superior ao percentil 99 (dias extremamente húmidos).

O parâmetro da “precipitação máxima diária” corresponde à quantidade máxima de precipitação, ao longo de um ano, num intervalo temporal de 24 horas. Os resultados obtidos evidenciam claras diferenças entre as estações. Em Outeiro, Extremo, Cerdeira e Peneda, na serra da Peneda-Gerês e em Barragem de Castelo Burgães no concelho de Vale de Cambra os valores máximos ultrapassam os 200 mm. Nas estações localizadas no interior da região, nomeadamente na depressão de Chaves e vale da Vilariça os valores máximos são inferiores a 100 mm (Figura 7.5).

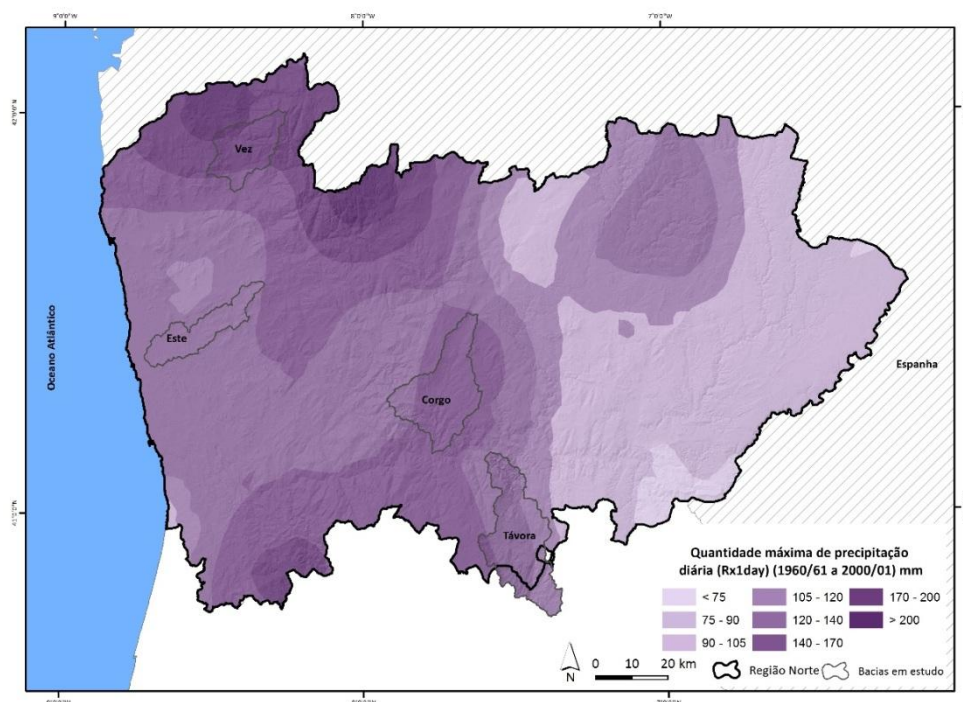


Figura 7.5. Quantidade máxima de precipitação diária (Rx1day).

O valor mais elevado registou-se em Outeiro, no Parque Nacional Peneda-Gerês, com 242 mm no dia 8 de dezembro de 1978. De destacar também o evento de precipitação entre 30 de março de 1962 e 1 de abril de 1963, em que se registaram os máximos de precipitação diária em nove estações localizadas nas bacias do Lima, Ave e Cávado.

Os resultados da quantidade máxima de precipitação em 5 dias seguem o mesmo padrão: os valores mais elevados encontram-se no Noroeste da região, e vão diminuindo à medida que caminhamos para o interior (Figura 7.6). As estações de Peneda e Leonte registaram mais de



600 mm de quantidade máxima de precipitação em 5 dias. No Nordeste, estes valores descem para menos de 150 mm.

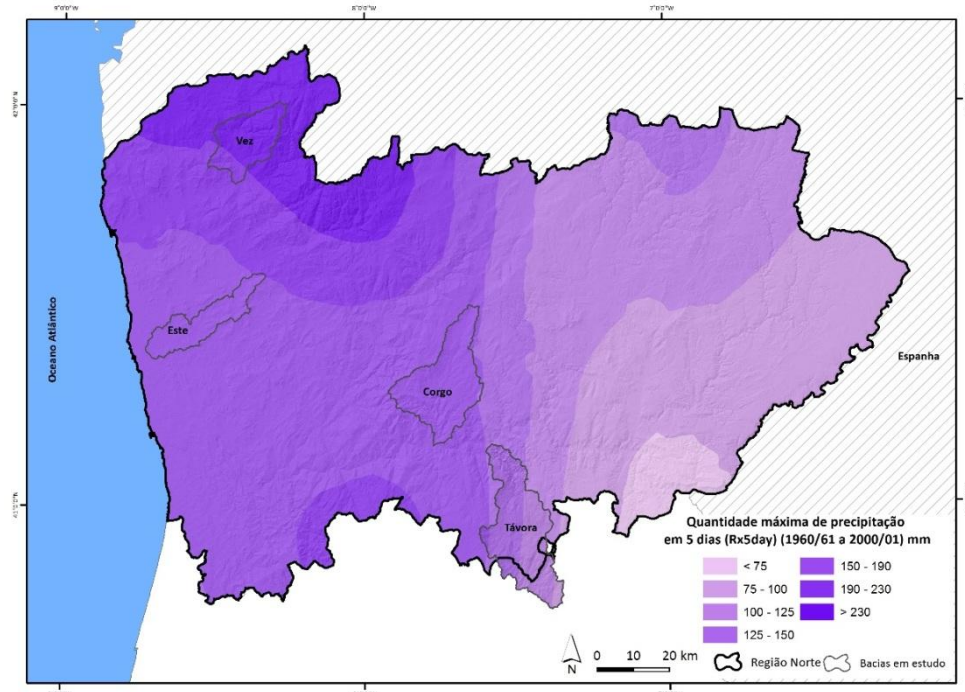


Figura 7.6. Quantidade máxima de precipitação em 5 dias (Rx5day).

Na Figura 7.7 encontra-se a distribuição espacial do índice simples de intensidade diária. São visíveis grandes diferenças de intensidade diária entre o Noroeste e o Nordeste da região Norte. Os valores médios variam entre os 6 mm/dia em Folgares, no concelho de Vila Flor e os 23 mm em Peneda, em Arcos de Valdevez. Na região Norte ocorrem em média, por ano, 43 dias com precipitação  $\geq 10$  mm e 21 dias com precipitação  $\geq 20$  mm. Se analisarmos o número médio de dias com precipitação superior a 10 mm e a 20 mm, por estação, podemos constatar que a estação de Leonte regista, em média, mais dias, 76 e 53 dias, respetivamente. Do lado oposto, surge a estação de Moncorvo, com 18 e 4 dias em média com precipitação  $\geq 10$  e a 20 mm, respetivamente. O Noroeste, mais uma vez se destaca, com o maior número médio de dias com precipitação superior a 10 e a 20 mm (Figura 7.8 e Figura 7.9).

Entre 1960/61 a 2000/01, ocorrem em média 3 dias por ano com precipitação abundante, ou seja, superior a 50 mm. Uma vez mais, a estação de Leonte está em evidência, com a ocorrência de 15 dias em média com precipitação  $\geq 50$  mm. São as estações de contexto de montanha, no Noroeste, que registam mais dias, em média, com precipitação superior ou igual a 50 mm: Leonte (15 dias), Peneda (14 dias), Cerdeira (10) e Extremo (9 dias). Pelo contrário,

as estações localizadas no Nordeste, não registam nenhum dia, em média com precipitação  $\geq 50$  mm (Figura 7.10).

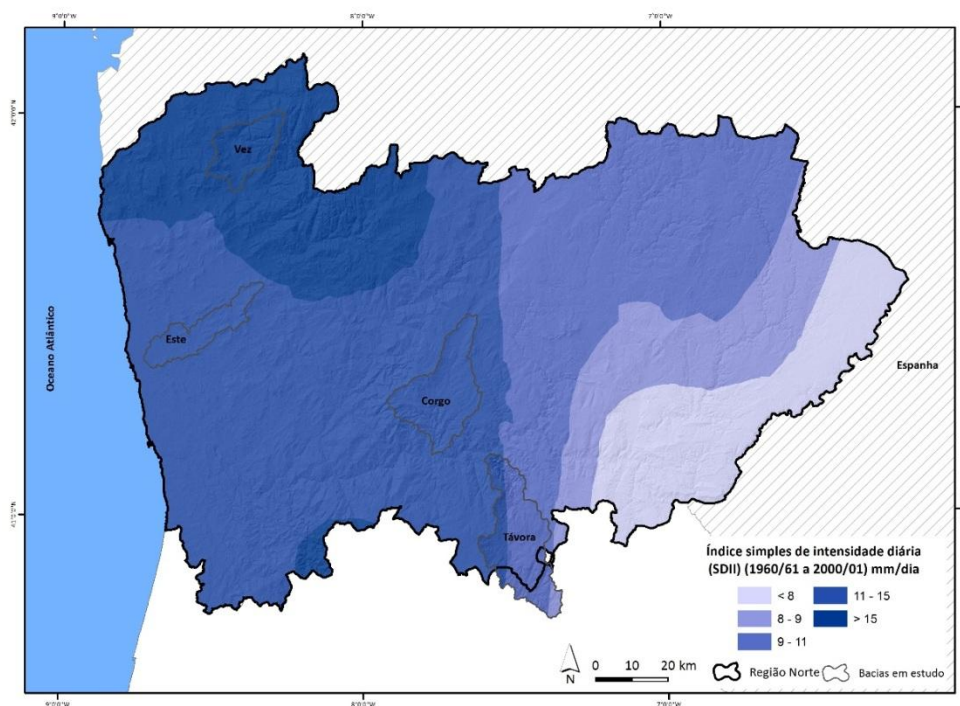


Figura 7.7. Índice simples de intensidade diária (SDII).

Procedeu-se também à análise do número de dias com precipitação  $\geq 50$  mm por estação do ano. Optou-se por analisar o número total de dias com precipitação  $\geq 50$  mm, durante o período em estudo, uma vez que os valores médios por estações do ano eram bastante reduzidos em algumas estações meteorológicas (Figura 7.11).

Em primeiro lugar, percebemos a singularidade do Noroeste, em relação à restante região, com uma frequência de dias com precipitação abundante muito superior, em todas as estações do ano. O inverno é a época do ano em que foram mais frequentes os dias de precipitação abundante, no total da região. Contudo, no Nordeste, a maior frequência ocorre no verão. No outono, a máxima frequência ocorre nas estações situadas nas serras da Peneda-Gerês.

Nas estações costeiras ocorreram mais de 40 dias com precipitação abundante. Pelo contrário, na área do Douro superior, no Nordeste não se registaram mais de 5 dias nos 41 anos em análise. No inverno, como já foi referido, a frequência de dias com precipitação abundante é maior no litoral e noroeste da região. Nas estações de Leonte e Peneda, situadas nas serras de

Peneda-Gerês registaram-se mais de 269 dias com precipitação  $\geq 50$  mm, ou seja, cerca de 7 dias por ano, no inverno.

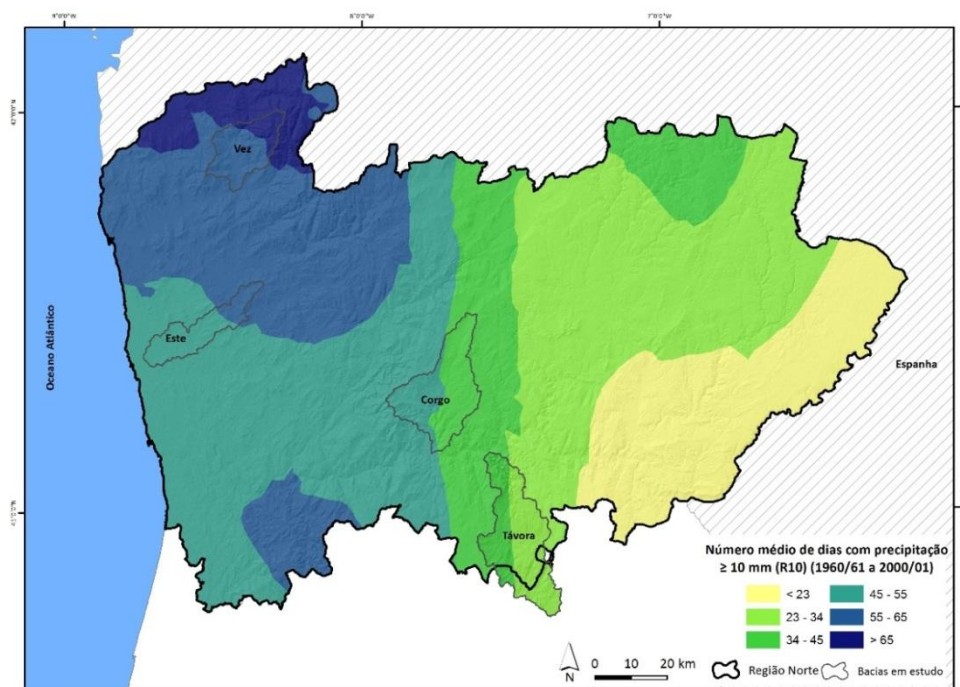


Figura 7.8. Número médio de dias com precipitação  $\geq 10$  mm.

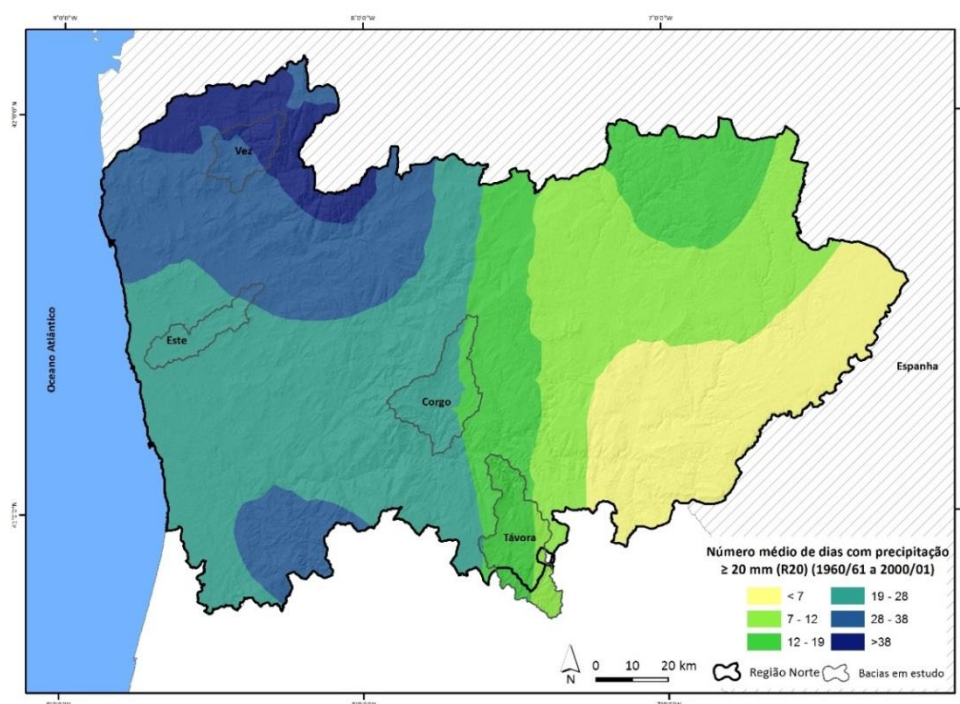


Figura 7.9. Número médio de dias com precipitação  $\geq 20$  mm.



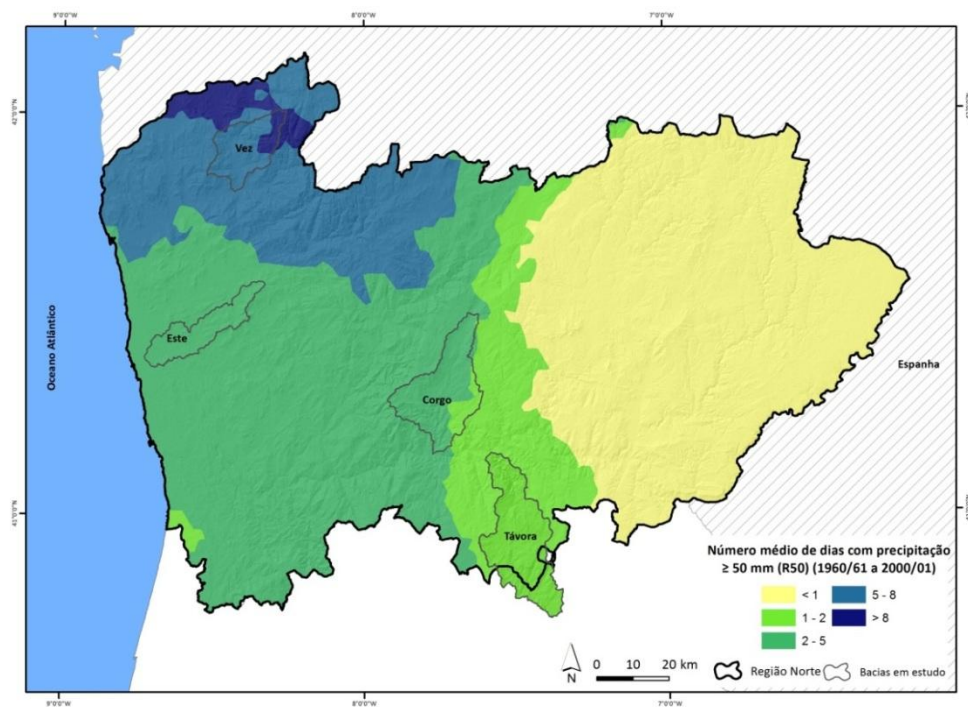


Figura 7.10. Número médio de dias com precipitação  $\geq 50$  mm.

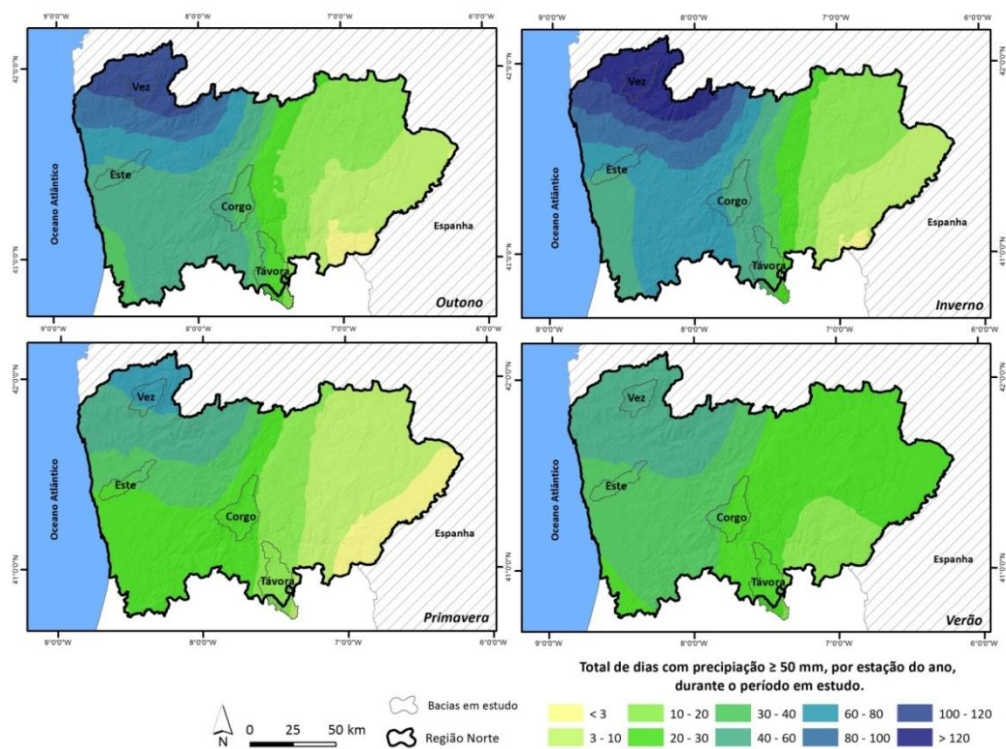


Figura 7.11. Número total de dias com precipitação  $\geq 50$  mm, por estações do ano.

Do lado oposto encontram-se as estações do Nordeste, tal como acontece no outono, com menos de 7 dias no total dos anos em estudo. Na primavera, a frequência dos dias com

precipitação abundante decresce bastante, apesar de nas estações de Peneda e Leonte, ser superior a 100 dias. No verão continuam a ser as estações situadas no Noroeste as que registam mais dias de precipitação abundante. De realçar o facto de o Nordeste apresentar mais dias com precipitação abundante no verão, do que nas restantes estações do ano. Este facto deve-se muito provavelmente à ocorrência de eventos de precipitação intensa associados a trovoadas severas, mais frequentes nas regiões do Norte interior, durante o verão (Santos *et al.*, 2012). O número médio de dias consecutivos com precipitação superior a 1 mm é bastante variável entre estações. A média do número de dias consecutivos com precipitação é de 12 dias na região Norte. A estação de Leonte apresenta uma média de 15 dias com precipitação consecutiva. Na situação oposta, encontra-se a estação de Moncorvo com uma média de 7 dias consecutivos com precipitação (Figura 7.12).

Na Figura 7.13 está representada a distribuição espacial do valor médio da precipitação total anual que ocorre nos dias com precipitação superior ao percentil 95 das precipitações diárias. Assim, são as estações do Noroeste que exibem valores mais elevados: Leonte (745 mm), Cerdeira (633 mm), Aveleiras (598 mm) e Peneda (547 mm).

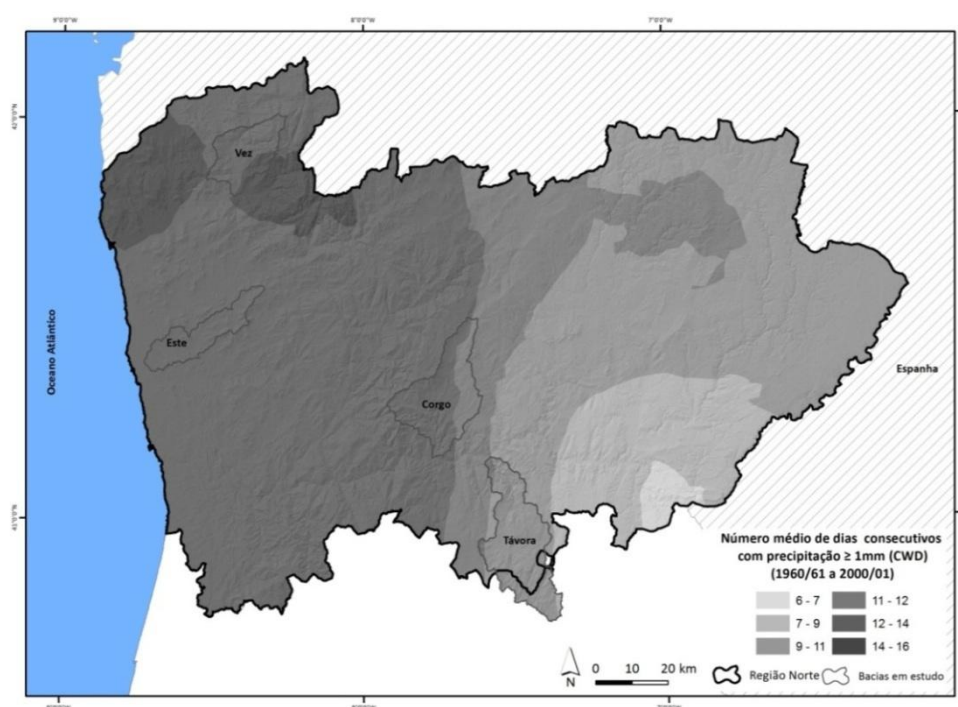


Figura 7.12. Número médio de dias consecutivos com precipitação  $\geq 1$  mm.

Os valores mais baixos, inferiores a 360 mm por ano, ocorrem no Nordeste, mais precisamente nas estações de em Campo de Víboras, Moncorvo, Fonte da Aldeia e Chaves (Figura 7.13). A precipitação média anual superior ao percentil 99 da precipitação diária segue o mesmo

padrão geral que vem sendo identificado, ou seja, os valores mais elevados registam-se no Noroeste, diminuindo à medida que caminhamos para o interior da região. Assim, Leonte regista mais de 257 mm de precipitação média anual superior ao percentil 99 e Campo de Víboras e Moncorvo menos de 47 mm. A precipitação que ocorre nos considerados dias muito húmidos (superior ao percentil 99) é no Noroeste superior a 190 mm. No Nordeste é inferior a 70 mm por ano, em média (Figura 7.14).

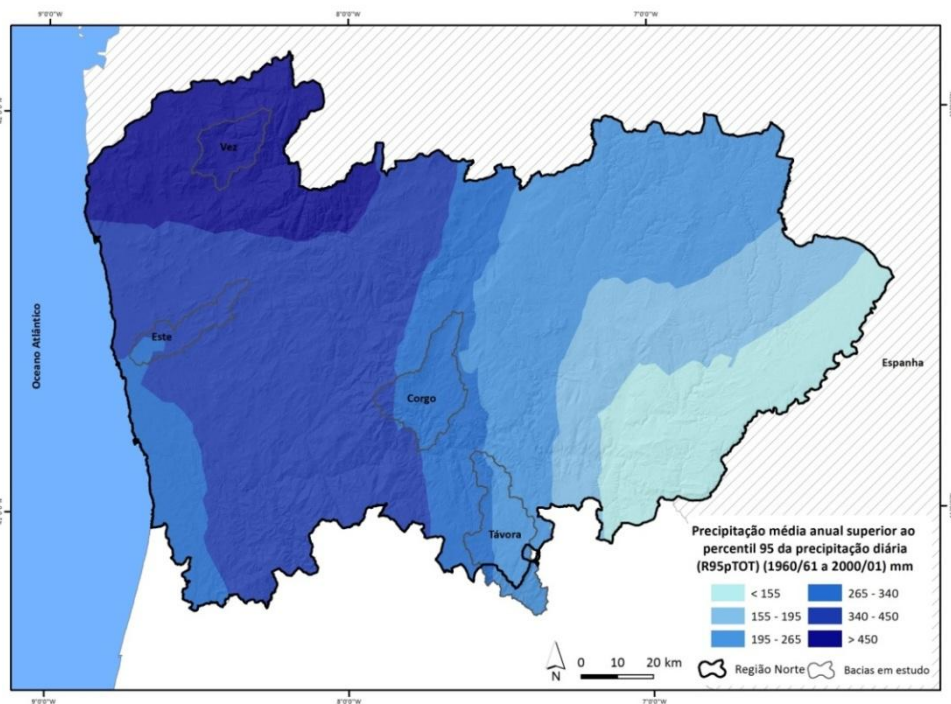


Figura 7.13. Precipitação média anual superior ao percentil 95 da precipitação diária (R95pTOT).

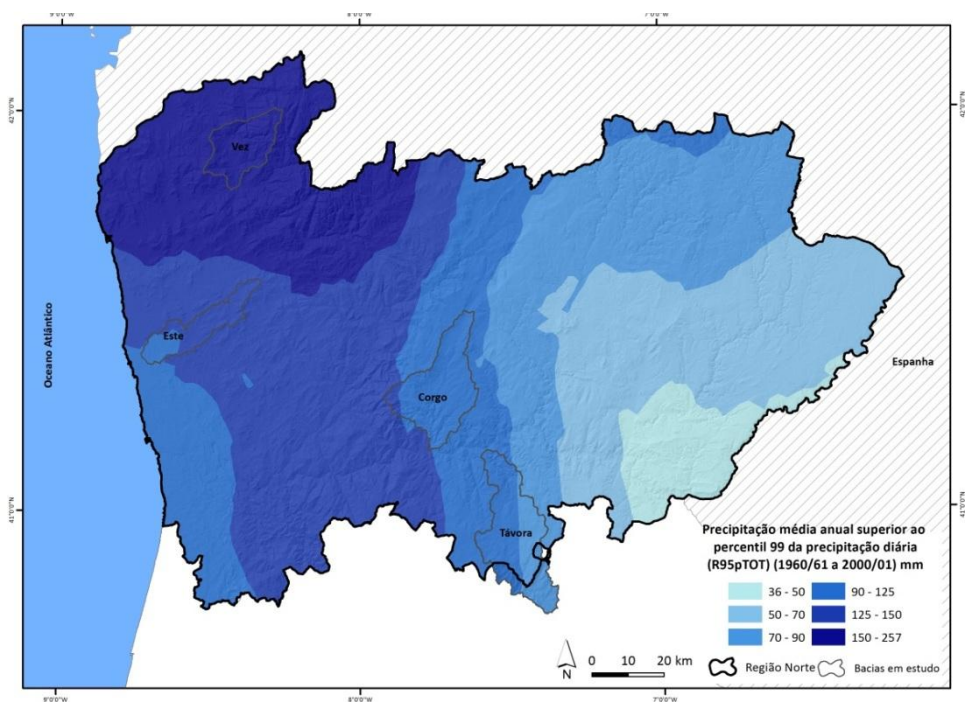


Figura 7.14. Precipitação média anual superior ao percentil 99 da precipitação diária (R95pTOT).



#### 7.1.4. Precipitações máximas diárias

Como vimos anteriormente na Figura 7.5, os valores mais elevados de precipitação máxima diária registam-se nas estações localizadas na serra da Peneda-Gerês e na estação da Barragem de Castelo Burgães, no concelho de Vale de Cambra, a 306 m de altitude. Este parâmetro, referente ao máximo registado em cada estação reflete em certa medida o carácter aleatório da localização dos episódios de forte precipitação, como é o caso da estação de Barragem de Castelo Burgães, cujo valor mais elevado registado foi de 204 mm em 10 de fevereiro de 1972, um valor excecional, quando comparado com os restantes valores máximos diários anuais registados nesta estação.

No que diz respeito aos valores médios das precipitações máximas diárias, estes variam entre os 38 mm em Campo de Víboras e os 144 mm em Leonte. Nas montanhas do Noroeste registam-se os valores mais elevados, situando-se acima dos 105 mm, na generalidade das estações meteorológicas em estudo. Os valores mais baixos encontram-se no Nordeste, nomeadamente no Douro superior (menos de 39 mm) (Figura 7.15).

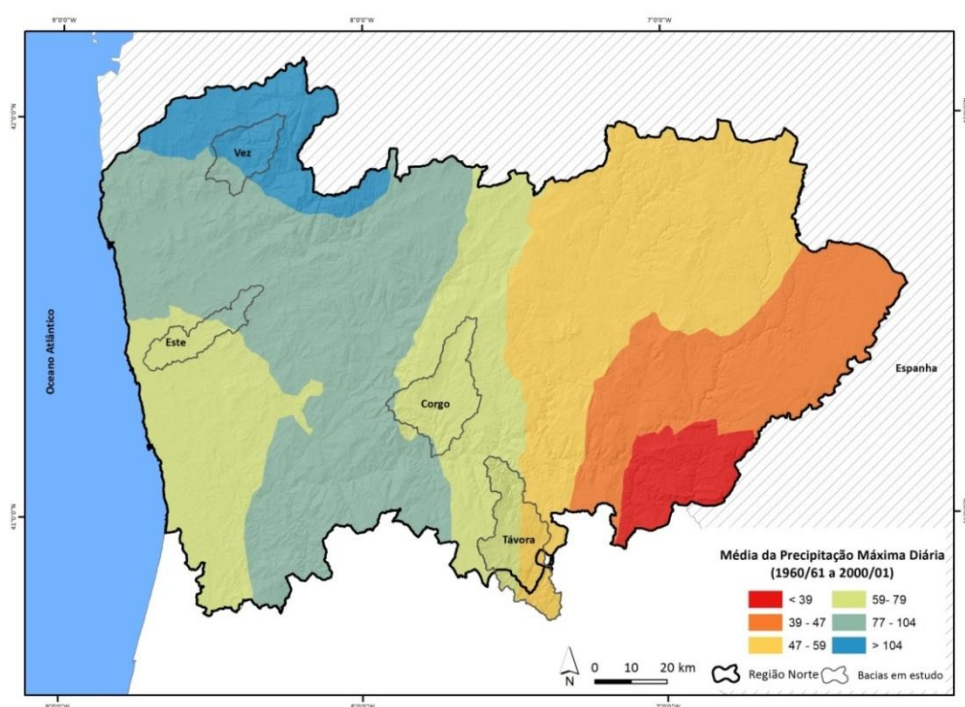


Figura 7.15. Valores médios da precipitação máxima diária na região Norte.

Nas figuras seguintes (Figura 7.16 e Figura 7.17) pretende-se averiguar a existência de uma época do ano predominante de ocorrência das precipitações máximas diárias, ou se, pelo contrário, ocorrem em qualquer altura do ano. Os resultados mostram que não existe uma



tendência clara que indique que a precipitação máxima diária ocorra num determinado mês do ano.

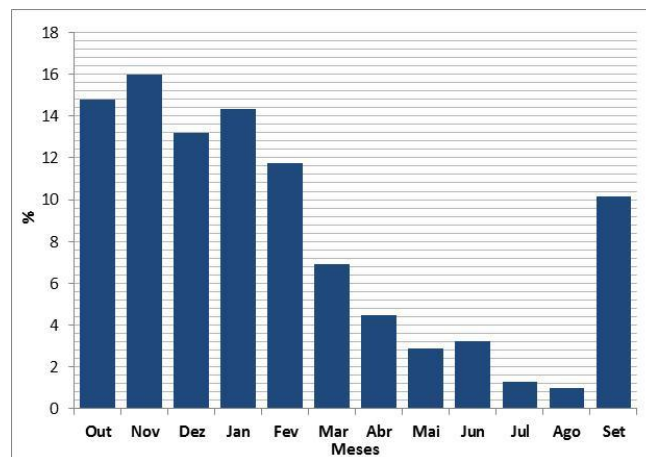


Figura 7.16. Distribuição por meses do ano, das precipitações máximas diárias.

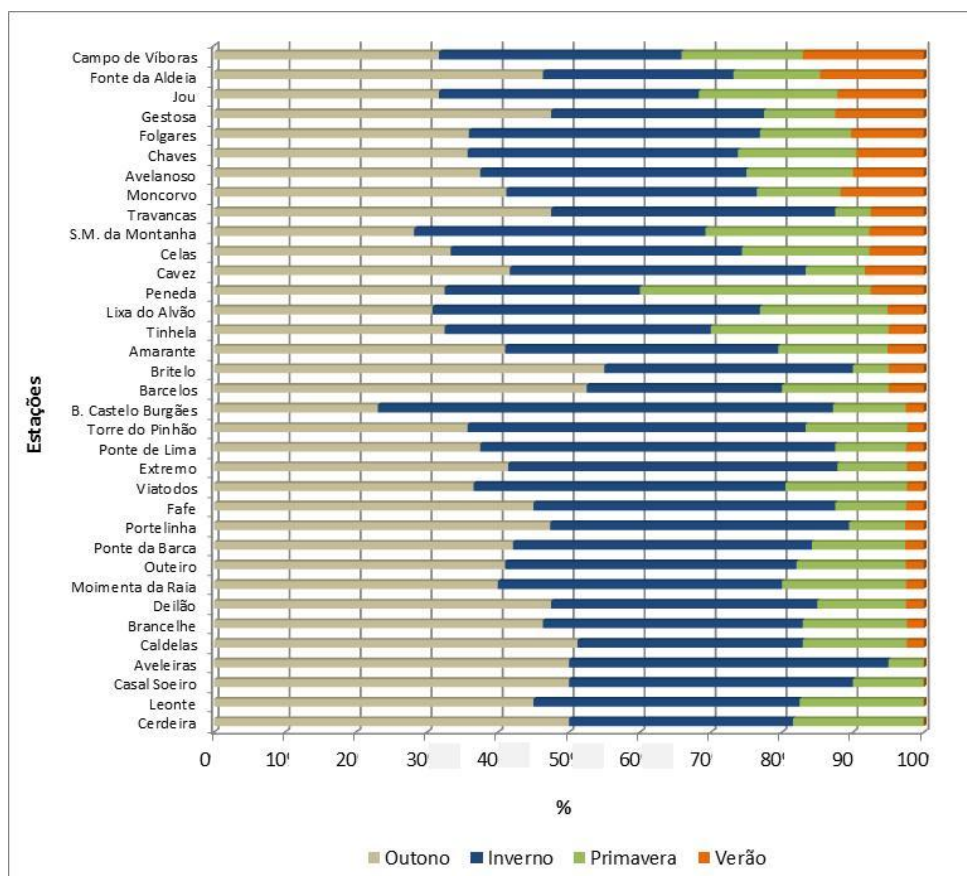


Figura 7.17. Frequência (%) de ocorrência de precipitações máximas diárias ao longo do ano.

São os meses de outubro a janeiro que registam mais máximos de precipitações diárias, sendo novembro o mês em que se verificam mais máximos em 17 das 35 estações. Nos meses de

julho e agosto a frequência de máximos diários de precipitação é reduzida, registando-se 1,3% e 1%, respetivamente, do total de máximos diários. De referir também o aumento de casos de precipitações máximas diárias, no mês de setembro (10,2%) (Figura 7.16). Como podemos confirmar na Figura 7.17 (estações ordenadas pela frequência no Verão), não se verificam diferenças significativas no que diz respeito à predominância de ocorrência das precipitações máximas diárias. Em 22 do total de 35 estações, o outono é a época do ano em que ocorrem mais eventos de precipitações máximas diárias. De seguida surge o inverno, primavera e por fim, o verão com 6% em média de ocorrência de dias com precipitações máximas diárias.

#### 7.1.5. Período de retorno da precipitação máxima acumulada

Os valores acumulados de precipitação mais elevados têm uma maior probabilidade de causarem fenómenos de cheias ou movimentos de vertente. Por isso, neste trabalho, foram calculados os períodos de retorno para as precipitações máximas para diferentes durações: 1,2,3,4,5,10,30,40,60 e 90 dias, optando-se por representar as durações de 1, 5, 30 e 90 dias.

A precipitação máxima diária para um período de retorno de 2 anos é muito variável de estação para estação. Assim, em Leonte este valor é de 139 mm e em Moncorvo de 35 mm. Deste modo, é possível observar as grandes diferenças entre as estações localizadas no Nordeste (ex. Moncorvo: 35 mm, Campo de Víboras: 37 mm, Fonte da Aldeia: 40mm e Folgares: 41 mm) e as situadas no Noroeste (ex. Leonte: 139 mm, Peneda: 116 mm, Outeiro: 108 mm e Cerdeira: 107 mm). O mesmo se verifica para as restantes durações de 5, 30 e 90 dias de precipitação acumulada (Figura 7.18).

Os quantitativos de precipitação máxima diária para um período de retorno de 5 anos seguem o mesmo padrão que os resultados para o período de retorno de 2 anos. O valor mais baixo regista-se em Moncorvo com 48 mm e o valor mais elevado em Leonte com 174 mm.

Para um período de retorno de 10 anos, a precipitação máxima diária atinge em Leonte, os 198 mm. O valor mais baixo estimado é de 56 mm, na estação de Moncorvo. As restantes durações revelam o mesmo padrão espacial, destacando-se sempre Leonte, com os valores mais elevados (Figura 7.19).

Os quantitativos de precipitação para um período de retorno de 50 anos são bastante mais elevados no Noroeste, ou seja, nas montanhas do Alto Minho do que no Nordeste, mais especificamente no Alto vale do Douro. Assim, no Noroeste, os valores de precipitação máxima para 1 dia ultrapassam os 200 mm, para 5 dias, são superiores a 450 mm, para 30 dias

ultrapassam os 1100 mm e para os 90 dias excedem 2200 mm. Do lado oposto, no Alto Vale do Douro, estes valores são de 90, 200, 500 e 850 mm para 1, 5, 30 e 90 dias, respetivamente (Figura 7.20). A estação de Leonte continua a ser a estação que regista valores mais elevados para um período de retorno de 100 anos. Nesta estação, a precipitação máxima estimada para 1 dia é de 268 mm, para 5 dias é de 736 mm, para 30 dias é de 2031 mm e para 90 dias de 3779 mm. Em situação contrária encontra-se a estação de Moncorvo com os valores mais baixos (Figura 7.21).

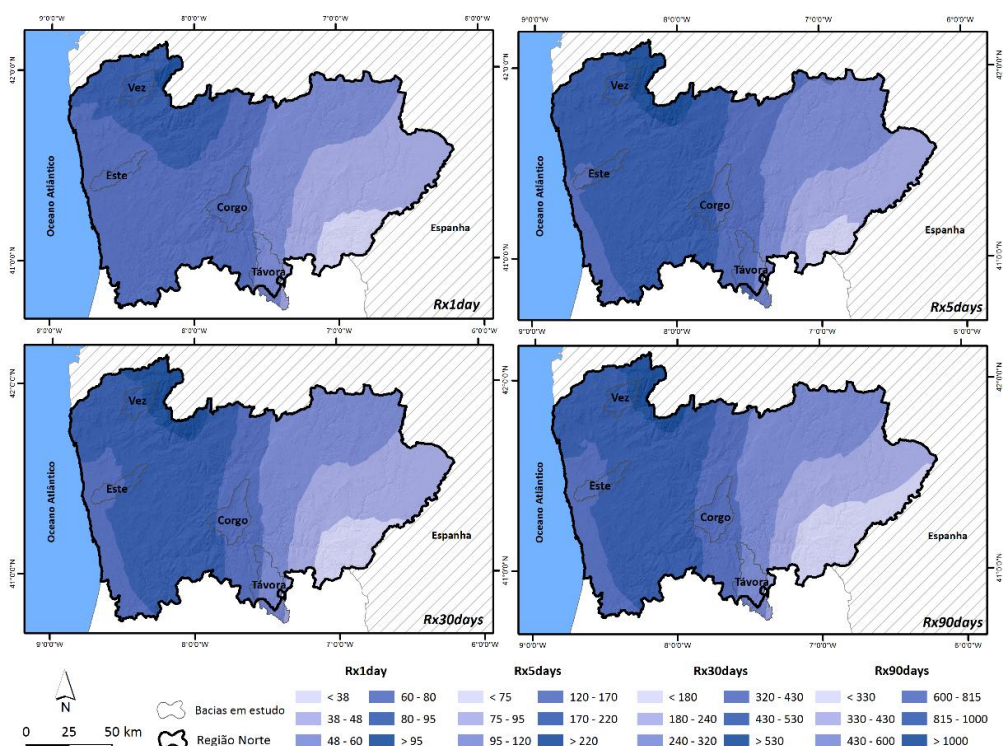


Figura 7.18. Precipitações máximas para um período de retorno de 2 anos, para 1 (Rx1day), 5 (Rx5days), 30 (Rx30days) e 90 dias (Rx90days).

Deste modo, os valores estimados para os diferentes períodos de retorno para a precipitação máxima são mais elevados no Noroeste, nomeadamente nas serras de Peneda-Gerês. Os valores de precipitação máxima mais baixos estimados para os diferentes períodos de retorno registam-se nas estações do Nordeste. O contraste espacial da intensidade da precipitação associada a episódios extremos verifica-se em todos os períodos de retorno calculados e em todas as durações temporais. Para evidenciar o muito forte contraste nos valores extremos de precipitação entre os sectores regionais, atente-se no facto de os valores estimados para o

Nordeste para um período de retorno de 100 anos, terem no Noroeste um período de retorno de apenas 2 ou 5 anos, sendo portanto considerados frequentes nesta área da região.

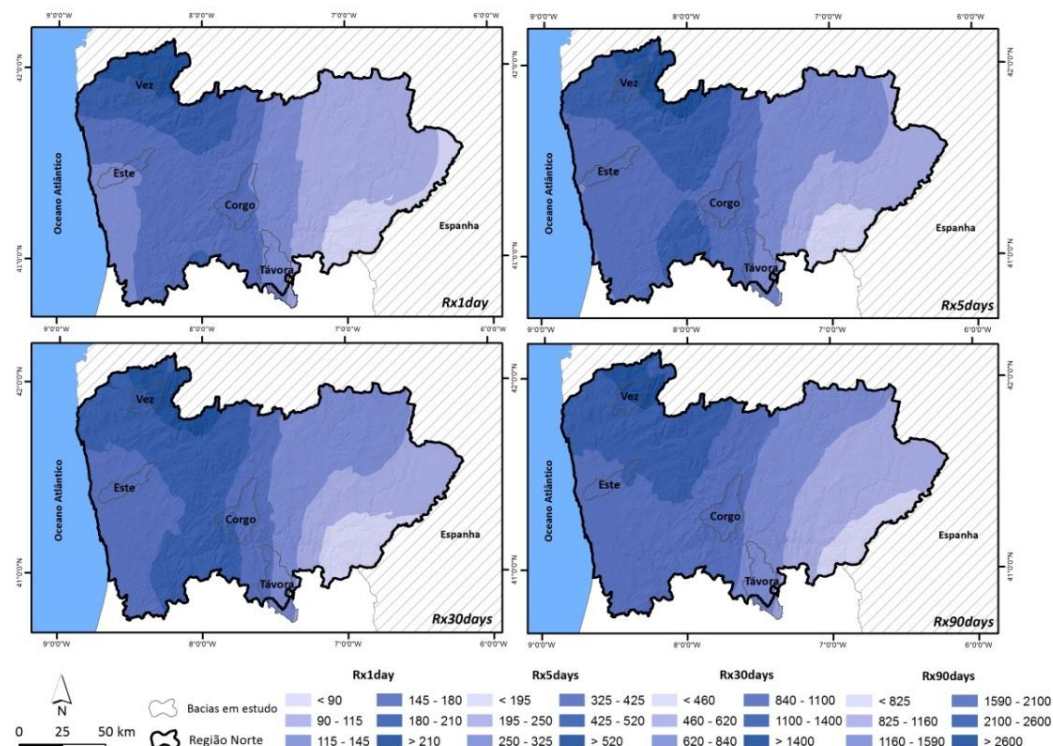


Figura 7.19. Precipitações máximas para um período de retorno de 10 anos, para 1 (Rx1day), 5 (Rx5days), 30 (Rx30days) e 90 dias (Rx90days).

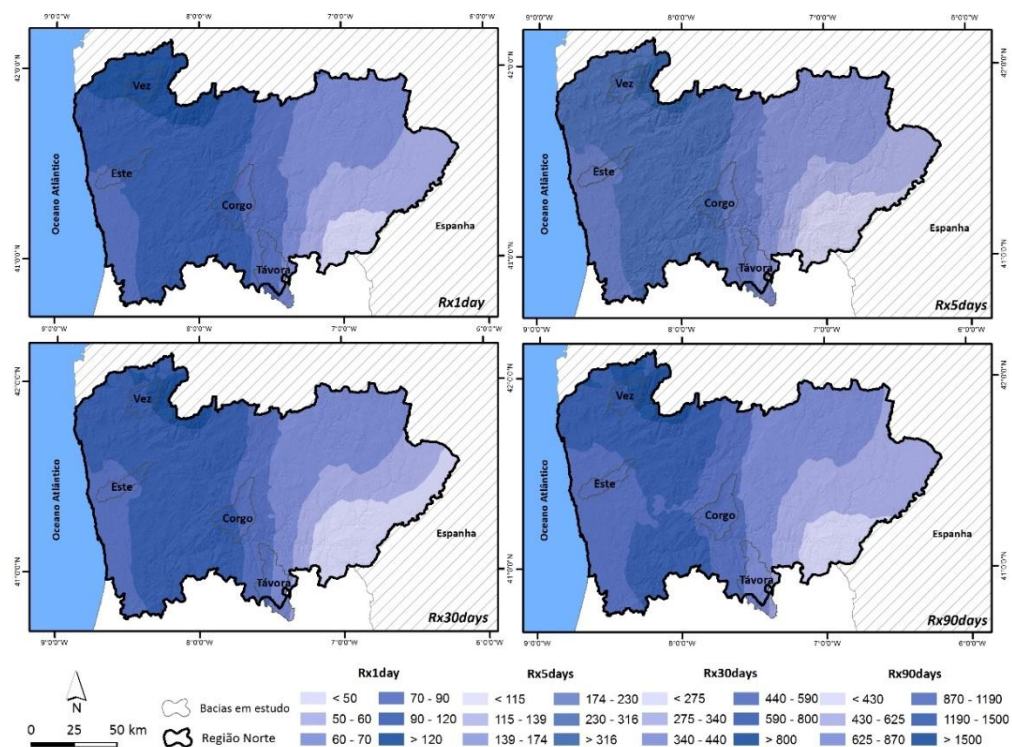


Figura 7.20. Precipitações máximas para um período de retorno de 50 anos, para 1 (Rx1day), 5 (Rx5days), 30 (Rx30days) e 90 dias (Rx90days).



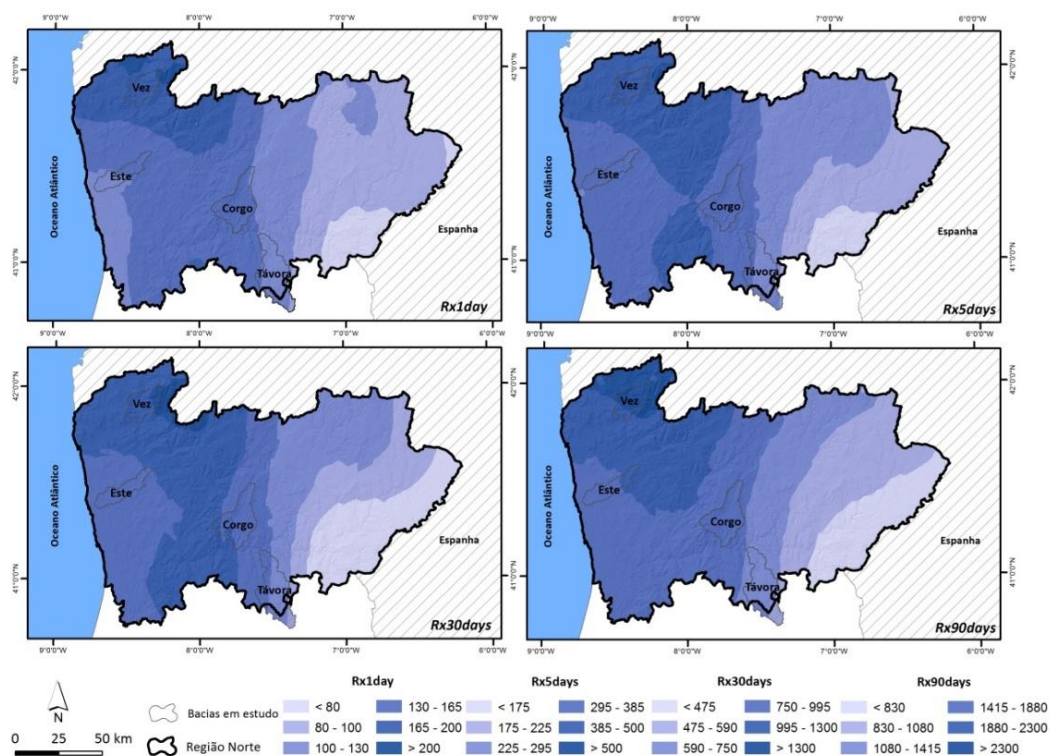


Figura 7.21. Precipitações máximas para um período de retorno de 100 anos, para 1 (Rx1day), 5 (Rx5days), 30 (Rx30days) e 90 dias (Rx90days).

## 7.2. Bacia do rio Vez

Na bacia do rio Vez, a precipitação média nos dias com precipitação  $\geq$  a 1 mm, foi de 18 mm, muito superior à média da região Norte (14 mm). São bem visíveis as diferenças entre as estações situadas nos vales dos rios Vez e Lima, como Ponte da Barca e Ponte de Lima, com 14 mm e as estações situadas nas montanhas, como Peneda e Leonte, com 23 mm de precipitação média diária. O máximo de precipitação registado, ocorreu na estação de Leonte (219 mm) no dia 31 de março de 1962. Também Cerdeira, Extremo e Peneda registaram máximos diários de precipitação superiores a 200 mm (Quadro 7.1). A repartição dos dias com precipitação ( $P \geq 1$  mm), em nove classes de abundância diária, na Figura 7.22 (as estações estão ordenadas de acordo com a percentagem registada na classe mais elevada (precipitação  $\geq 80$  mm)) mostra-nos a importância das classes mais elevadas na estrutura dos dias com precipitação, na maioria das estações. A média dos dias com precipitação  $\geq 60$  mm, nas dez estações em estudo é de 5% e a média dos dias com precipitação  $\geq 80$  mm é de 2,4%. No entanto, Leonte e Peneda assinalam mais de 5% dos dias com precipitação  $\geq$  a 80 mm. As estações de Britelo, Ponte da Barca e Ponte de Lima, estações de fundo de vale, apresentam uma menor importância dos dias com precipitação mais abundante (Figura 7.22).

A análise ao parâmetro da concentração diária da precipitação mostra-nos que o valor mais elevado da região Norte localiza-se nesta área, em Leonte (0,58). As restantes estações têm um CI ligeiramente mais baixo, variando entre os 0,55 em Britelo e Portelinha e 0,573 em Extremo e Aveleiras (Figura 7.3).

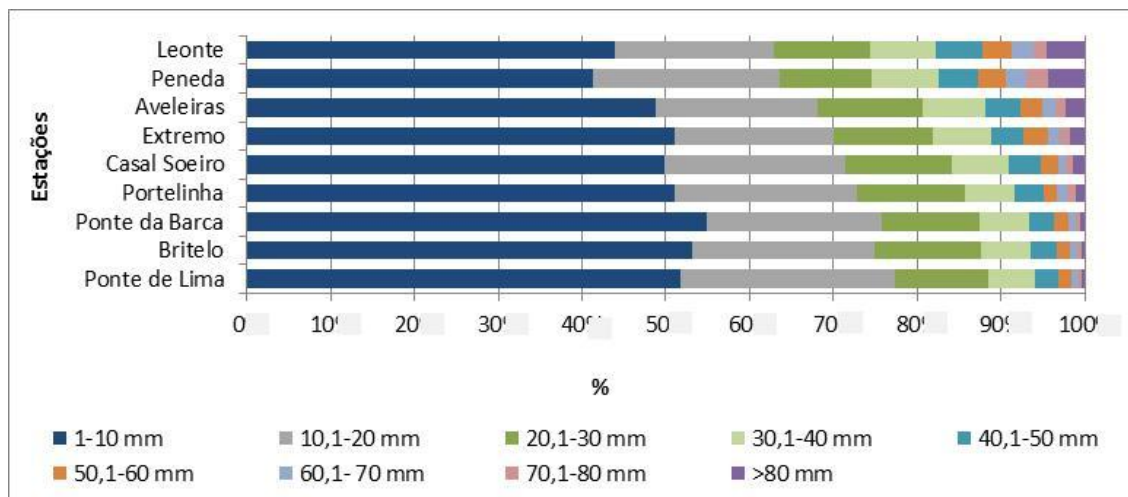


Figura 7.22. Repartição dos dias com precipitação ( $P \geq 1\text{mm}$ ) na bacia do rio Vez, em nove classes de abundância diária.

Os resultados por estações do ano mostram que a concentração é mais elevada no verão nas estações de Britelo, Extremo, Ponte de Lima e Portelinha e mais elevada no outono nas estações de Aveleiras, Casal Soeiro e Leonte. Os valores mais baixos de CI situam-se no inverno em todas as estações, exceto em Leonte, cujo mínimo de CI ocorre na primavera (Figura 7.4 e Figura 7.23).

Como vimos anteriormente, os valores de precipitação máxima diária são dos mais elevados da região Norte, destacando-se as estações de Extremo e Leonte (Figura 7.5 e Figura 7.24). Os valores máximos de precipitação em 5 dias são superiores a 500 mm em Aveleiras, Leonte e Peneda. As restantes estações podem ser agrupadas em dois grupos: um grupo com precipitação máxima entre os 400 e os 500 mm: Casal Soeiro, Extremo e Cerdeira e outro grupo com precipitação máxima em 5 dias inferior a 400 mm: Britelo, Ponte da Barca, Ponte de Lima e Portelinha (Figura 7.6 e Figura 7.24).

Na bacia do rio Vez, ocorrem em média 64 dias por ano com precipitação  $\geq 10$  mm, 38 dias com precipitação  $\geq 20$  mm e 8 dias com precipitação  $\geq 50$  mm. Contudo, verificam-se diferenças muito significativas entre as estações localizadas nos vales dos rios Vez e Lima (Britelo, Ponte da Barca e Ponte de Lima) e as estações situadas nas serras mais próximas

(Leonte, Peneda e Extremo). A estação de Leonte regista assim, 76 dias com precipitação  $\geq 10$  mm, 53 dias com precipitação  $\geq 20$  mm e 15 dias com precipitação  $\geq 50$  mm (Figura 7.25).

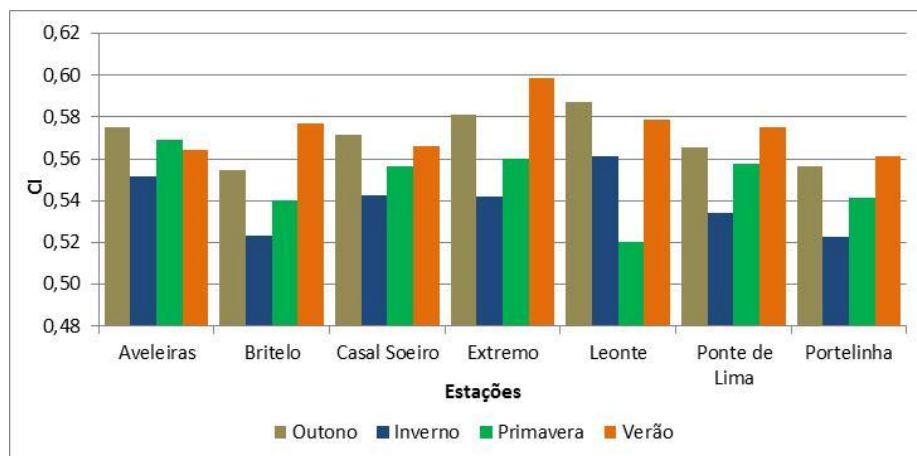


Figura 7.23. Índice de concentração diária da precipitação sazonal na bacia do rio Vez.

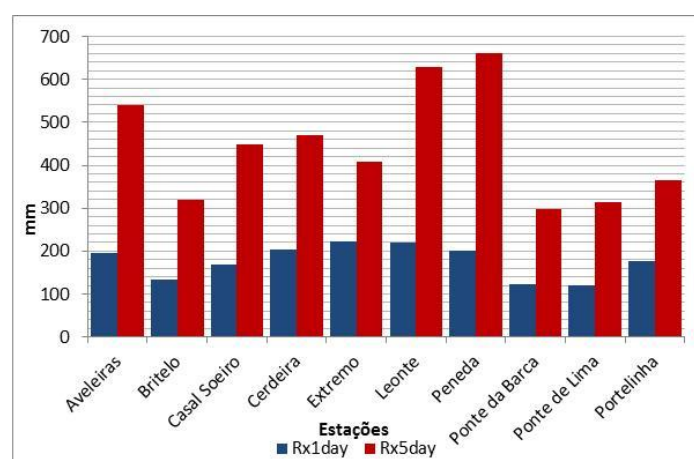


Figura 7.24. Quantidade máxima de precipitação em 1 dia (Rx1day) e em 5 dias (Rx5day) na bacia do rio Vez.

Os dias com precipitação abundante ( $\geq 50$  mm) ocorrem sobretudo nos meses de inverno e outono, nesta área de estudo. Em média, no inverno sucederam 37% dos dias e no outono, 30% dos dias com precipitação abundante. As percentagens descem para 17% e 16% respetivamente, na primavera e no verão (Figura 7.26). O número médio de dias consecutivos com precipitação superior a 1 mm é bastante idêntico entre as estações, variando entre os 13 dias em Casal Soeiro e Portelinha e os 16 dias em Leonte (Figura 7.12). A precipitação média anual superior ao percentil 95 da precipitação diária é em média de 515 mm. Uma vez mais, Leonte e Cerdeira estão em evidência com os valores mais elevados: 745 e 633 mm,



respetivamente. Os valores mais baixos localizam-se nas estações de Ponte de Lima, Ponte da Barca e Britelo, com menos de 403 mm de precipitação média anual superior ao percentil 95 da precipitação diária (Figura 7.13 e Figura 7.27).

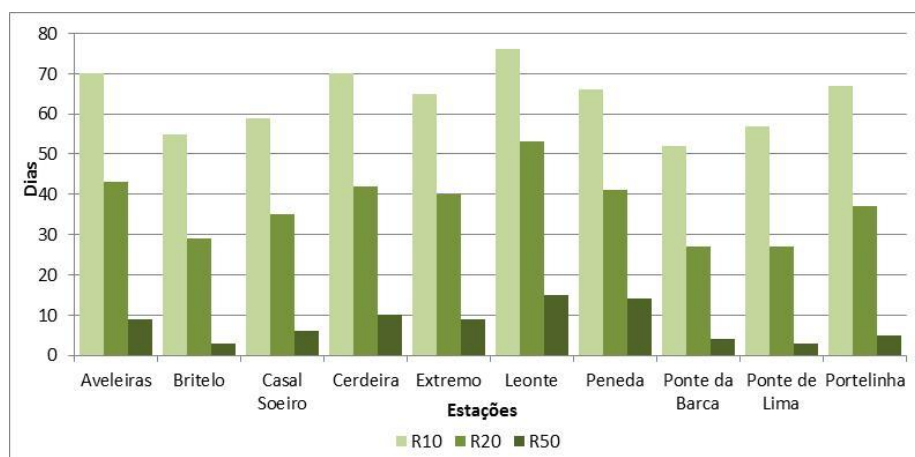


Figura 7.25. Número médio de dias com precipitação  $\geq 10$  mm (R10),  $\geq 20$  mm (R20) e  $\geq 50$  mm (R50) na bacia do rio Vez.

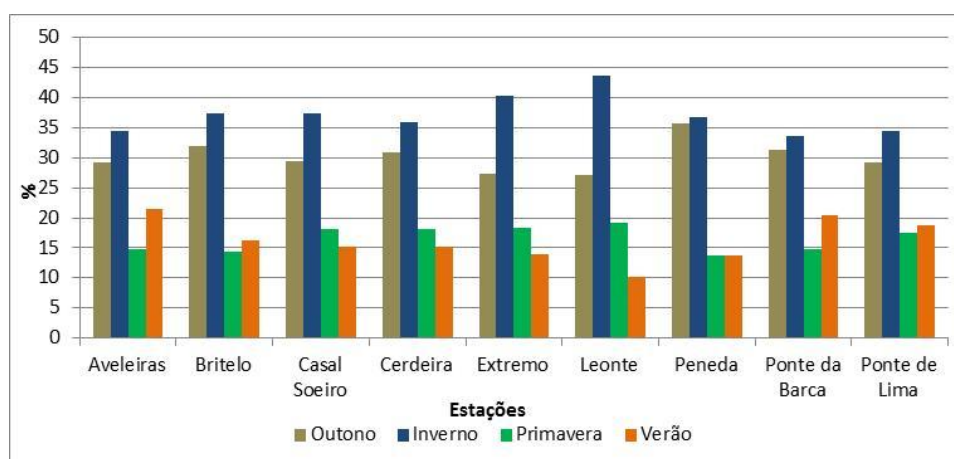


Figura 7.26. Número total de dias com precipitação  $\geq 50$  mm (%), por estação do ano na bacia do rio Vez.

A precipitação média anual superior ao percentil 99 da precipitação diária segue o mesmo padrão, isto é, os valores mais elevados registam-se em Leonte (257 mm), Aveleiras (215 mm) e Peneda (213 mm) e os mais baixos em Britelo (134 mm), Ponte de Lima (135 mm) e Ponte da Barca (142 mm) (Figura 7.14 e Figura 7.27).

Na Figura 7.28 é possível observar os quantis (mediana, quartil 1 e quartil 3), os máximos e os mínimos das séries de precipitações máximas diárias nas estações da bacia do Vez. Um primeiro aspeto a considerar é assimetria das séries, que é positiva na maioria das estações (exceto Peneda e Portelinha), uma vez que a mediana se encontra mais próxima do primeiro

quartil. Em algumas estações, como Leonte ou Aveleiras, o intervalo interquartílico é elevado, o que mostra uma variação interanual mais acentuada das precipitações máximas diárias.

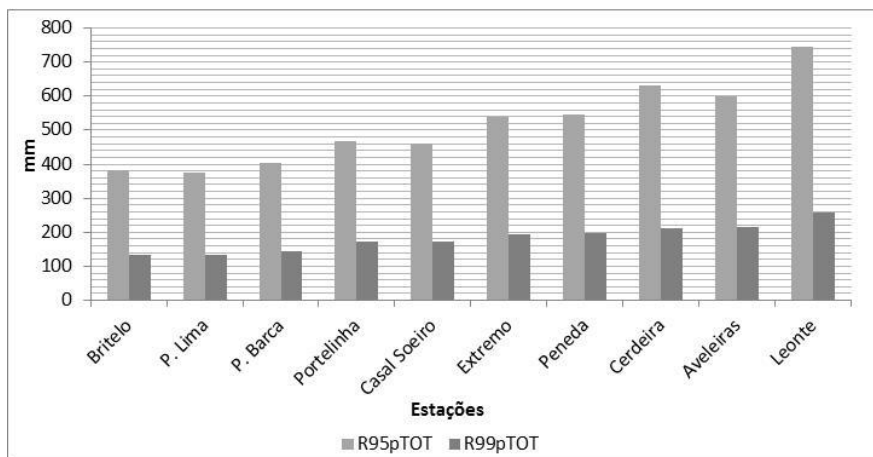


Figura 7.27. Precipitação média anual superior ao percentil 95 (R95pTOT) e 99 (R99pTOT) da precipitação diária na bacia do rio Vez.

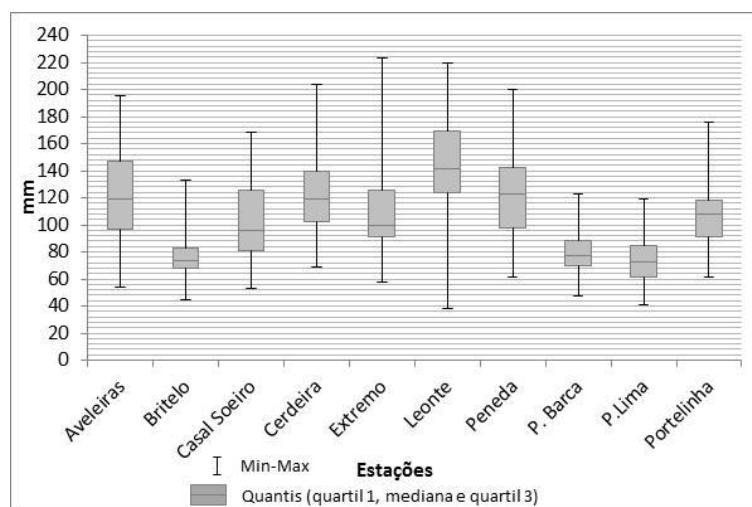


Figura 7.28. Quantis (Mediana, quartil 1 e quartil 3), máximos e mínimos das séries de precipitações máximas diárias das estações na bacia do rio Vez.

A mais fraca amplitude interquartílica verifica-se nas estações situadas em fundo de vale, como Britelo, Ponte da Barca e Ponte de Lima (Figura 7.28).

Na bacia do Vez, verifica-se uma predominância na ocorrência das precipitações máximas diárias nos meses de outono, na maioria das estações (exceto Ponte de Lima e Extremo). De seguida, surgem o inverno e a primavera. Na estação da Peneda, a primavera destaca-se com a ocorrência dos mesmos dias com precipitações máximas diárias que o outono. No verão

registaram-se menos dias com precipitações máximas diárias em todas as estações da área de estudo (Figura 7.29: estações ordenadas pela frequência no Verão).

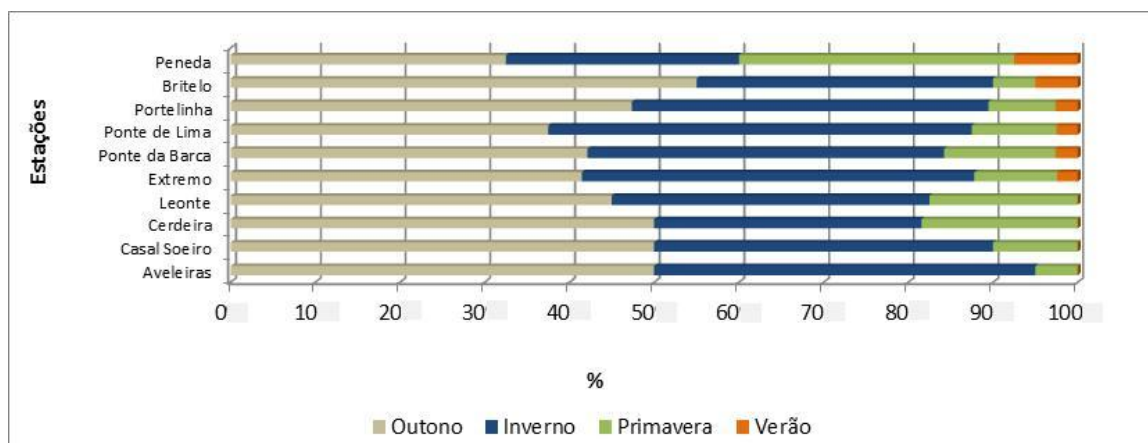


Figura 7.29. Frequência (%) de ocorrência de precipitações máximas diárias ao longo do ano na bacia do rio Vez.

Para um período de retorno de 2, 5, 10, 50 e 100 anos, a precipitação estimada para 1 dia é mais elevada em Leonte. Para um período de retorno de 500 anos, o valor mais elevado regista-se na estação de Cerdeira (321 mm). Pelo contrário, os valores mais baixos de precipitação estimada para 1 dia registam-se na estação de Britelo (Figura 7.30).

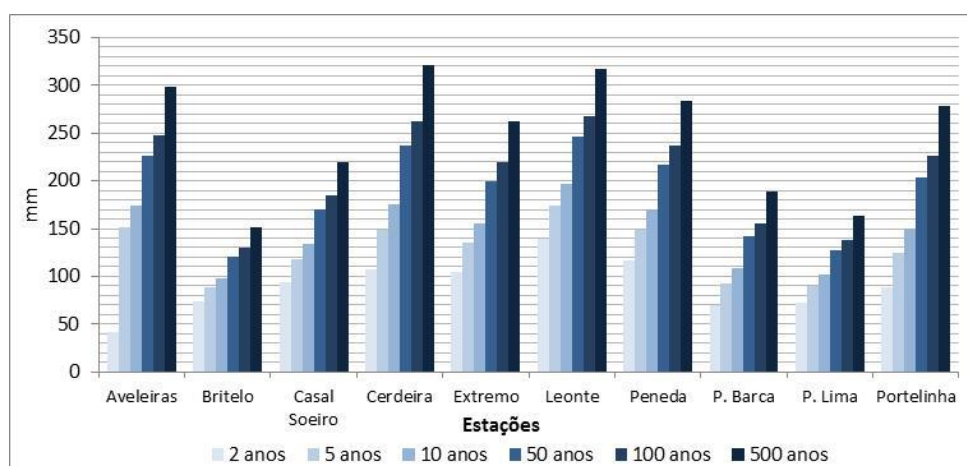


Figura 7.30. Máxima precipitação estimada, acumulada em 1 dia, para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Vez.

A precipitação acumulada para 90 dias para os diferentes períodos de retorno estimados segue o mesmo padrão, ou seja, os valores mais elevados ocorrem em Leonte e os mais baixos em Ponte de Lima (Figura 7.31).

Assim, são as estações de montanha, que apresentam quantitativos de precipitação estimados mais elevados para os diferentes períodos de retorno: estações de Leonte e Peneda, nas serras

da Peneda-Gerês. Os quantitativos mais baixos de precipitação estimada para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 50, 100 e 500 anos, ocorrem nas estações de Ponte de Lima, Ponte da Barca e Britelo, situadas nos vales dos rios Lima e Vez.

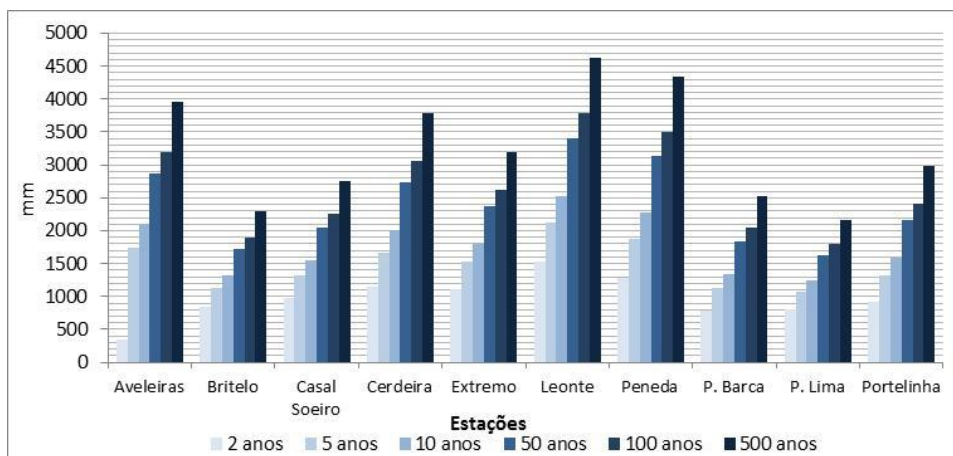


Figura 7.31. Máxima precipitação estimada, acumulada em 90 dias, para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Vez.

### 7.3. Bacia do rio Este

Na bacia do rio Este, a precipitação média nos dias com precipitação  $\geq 1$  mm, foi de 15 mm. As quatro estações localizadas no Minho e relativamente próximas umas das outras apresentam diferenças relativamente ténues, sendo o valor mais baixo na estação de Barcelos (13,8 mm) e o valor mais elevado na estação de Viatodos (15,5 mm). O máximo de precipitação registado ocorreu na estação de Fafe, com 163 mm, no dia 4 de janeiro de 1962 (Quadro 7.1).

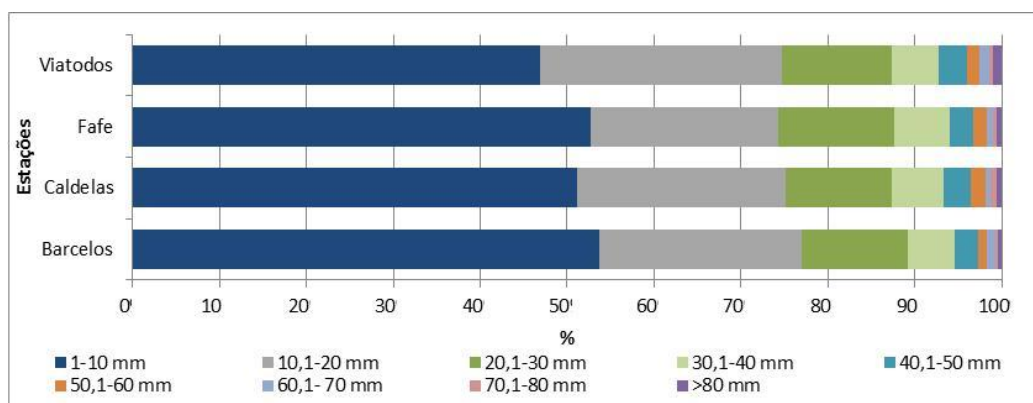


Figura 7.32. Repartição dos dias com precipitação ( $P \geq 1$  mm) registados na bacia do rio Este, em nove classes de abundância diária.

A repartição dos dias com precipitação ( $P \geq 1$  mm), em nove classes de abundância diária mostra-nos a importância da classe de 1 a 10 mm (Figura 7.32: as estações estão ordenadas de acordo com a percentagem registada na classe mais elevada (precipitação  $\geq 80$  mm)). A média dos dias com precipitação  $\geq 60$  mm, nas quatro estações em estudo é de 2% dias e a média dos dias com precipitação  $\geq 80$  mm é de 0,7%. A estação de Viatodos é a que apresenta mais dias com precipitação  $\geq 60$  mm, ou seja, 2,6% do total dos dias com precipitação.

O CI da precipitação nas quatro estações estudadas varia entre 0,516 em Viatodos e 0,58 em Fafe (Figura 7.3). Os resultados por estações do ano mostram que a concentração é mais elevada no verão em todas as estações, como seria de esperar, uma vez que os dias com precipitação ocorrem com menor frequência (Figura 7.4 e Figura 7.33).

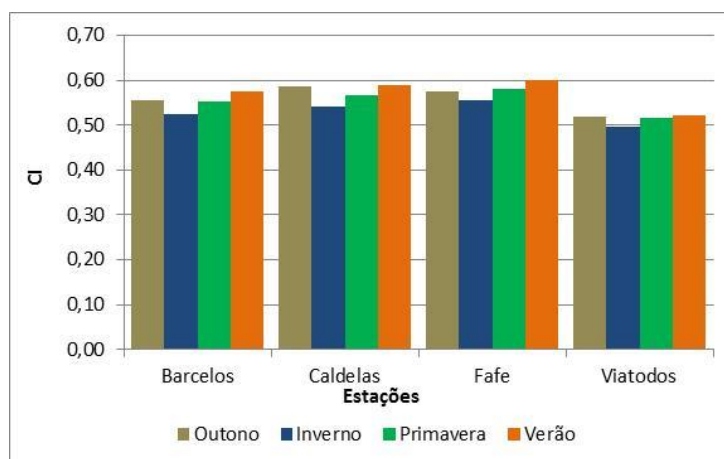


Figura 7.33. Índice de concentração diária da precipitação sazonal na bacia do rio Este.

A estação de Fafe apresenta os valores mais elevados de precipitação máxima em 1 (163 mm) e em 5 dias (418 mm). Em todas as estações os valores ultrapassam os 100 mm para a precipitação máxima diária e os 300 mm para a precipitação máxima em 5 dias (Figura 7.6 e Figura 7.34).

Na bacia do rio Este, ocorrem em média 55 dias por ano com precipitação  $\geq 10$  mm, 27 dias com precipitação  $\geq 20$  mm e 4 dias com precipitação  $\geq 50$  mm. Como podemos verificar na Figura 7.35, o número de dias com precipitação  $\geq 10$ , 20 ou 50 mm é semelhante entre as estações. Caldelas destaca-se com o maior número de dias com precipitação superior  $\geq 10$  mm (57 dias), enquanto Fafe destaca-se com o maior número de dias com precipitação superior  $\geq 20$  mm (29 dias). Na estação de Barcelos, os dias com precipitação abundante ( $\geq 50$  mm) ocorrem com mais frequência nos meses de outono (34%). Na primavera e no verão o número de dias com precipitação abundante é muito idêntico (17,3% e 17,9% dos dias,

respetivamente). Nas estações de Caldelas, Fafe e Viatodos a maior frequência de dias com precipitação abundante ocorre no inverno. Nestas estações, verifica-se uma maior diferença entre a primavera e o verão, destacando-se os meses de verão com mais dias de precipitação abundante ( $\geq 50$  mm) (Figura 7.36).

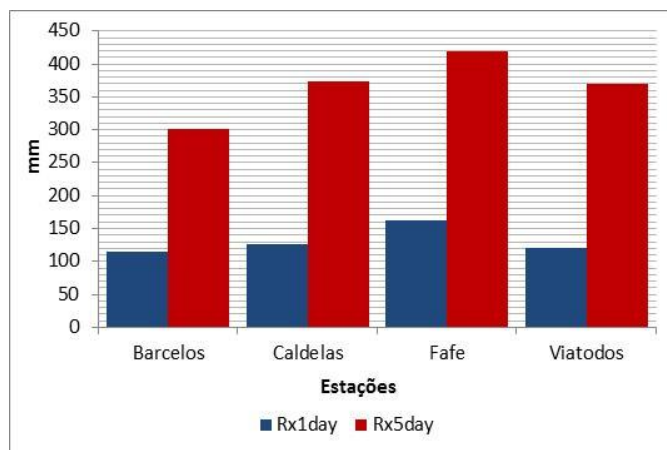


Figura 7.34. Quantidade máxima de precipitação em 1 dia (Rx1day) e em 5 dias (Rx5day) na bacia do rio Este.

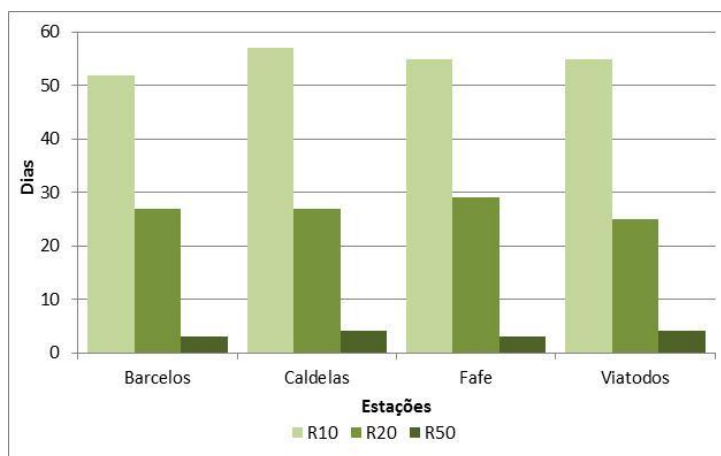


Figura 7.35. Número médio de dias com precipitação  $\geq 10$  mm (R10),  $\geq 20$  mm (R20) e  $\geq 50$  mm (R50) na bacia do rio Este.

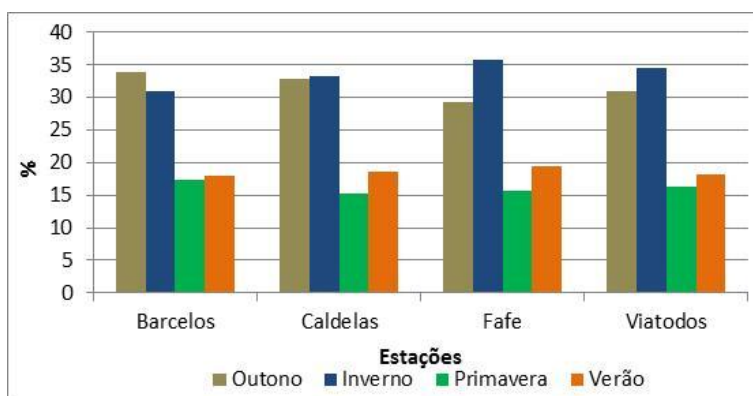


Figura 7.36. Dias com precipitação  $\geq 50$  mm em %, por estação do ano na bacia do rio Este.



O número médio de dias consecutivos com precipitação superior a 1 mm é de 13 dias nas quatro estações em análise (Figura 7.12). A precipitação média anual superior ao percentil 95 da precipitação diária é em média de 386 mm. As diferenças entre as estações são reduzidas, sendo o valor mais elevado em Caldelas, com 412 mm e o valor mais baixo em Barcelos (361 mm) (Figura 7.13 e Figura 7.37).

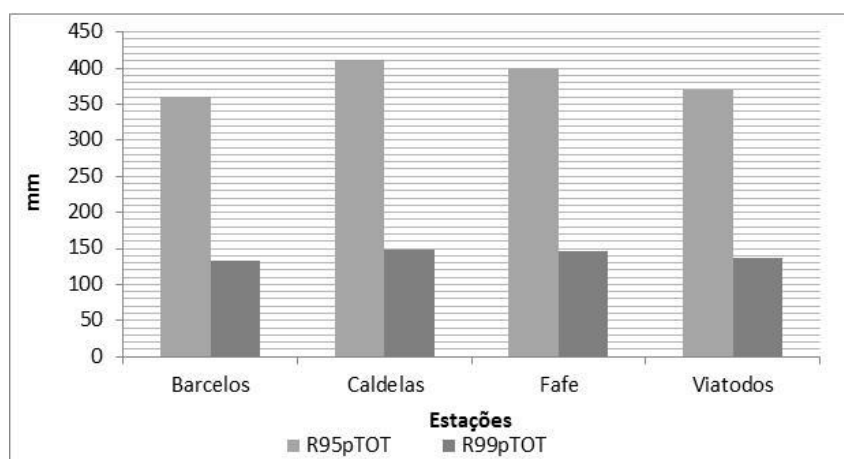


Figura 7.37. Precipitação média anual superior ao percentil 95 (R95pTOT) e 99 (R99pTOT) da precipitação diária na bacia do rio Este.

A precipitação média anual superior ao percentil 99 da precipitação diária segue o mesmo padrão que o parâmetro anterior, ou seja, o valor mais elevado regista-se em Caldelas (148 mm) e o mais baixo em Barcelos (133 mm) (Figura 7.14 e Figura 7.37). A análise às séries de precipitação máxima diária mostra que os valores máximos e mínimos são idênticos nas quatro estações. O máximo mais elevado registou-se em Fafe (163 mm) e o máximo mais baixo registou-se em Barcelos (115 mm). Pela leitura da Figura 7.38, é possível verificar que a assimetria das séries é positiva em Barcelos, Caldelas e Fafe. A amplitude interquartílica é relativamente fraca em todas as estações, mostrando assim a reduzida variabilidade interanual das precipitações máximas diárias (Figura 7.38).

Nos meses de outono, a frequência de precipitações máximas diárias é mais elevada nas estações de Barcelos, Caldelas e Fafe. Em Viatodos são os meses de inverno que registam mais dias com precipitações máximas diárias. A frequência mais baixa ocorre no verão, com a ocorrência média de apenas 1 dia no total dos 41 anos das séries (Figura 7.39).

Como vimos anteriormente, as estações apresentam resultados muito idênticos. O mesmo acontece com os valores da precipitação estimada para diferentes períodos de retorno. Assim,

para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 50, 100 e 500 anos, a precipitação estimada para 1 dia é mais elevada em Fafe e mais baixa em Barcelos (Figura 7.40).

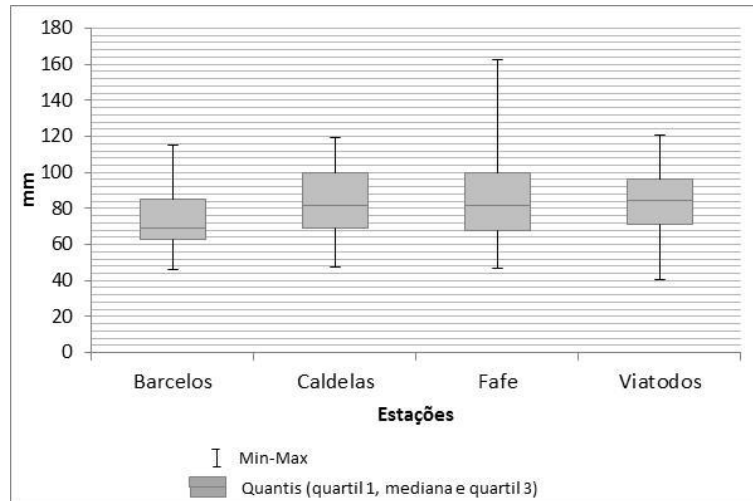


Figura 7.38. Quantis (Mediana, quartil 1 e quartil 3), máximos e mínimos das séries de precipitações máximas diárias na bacia do rio Este.

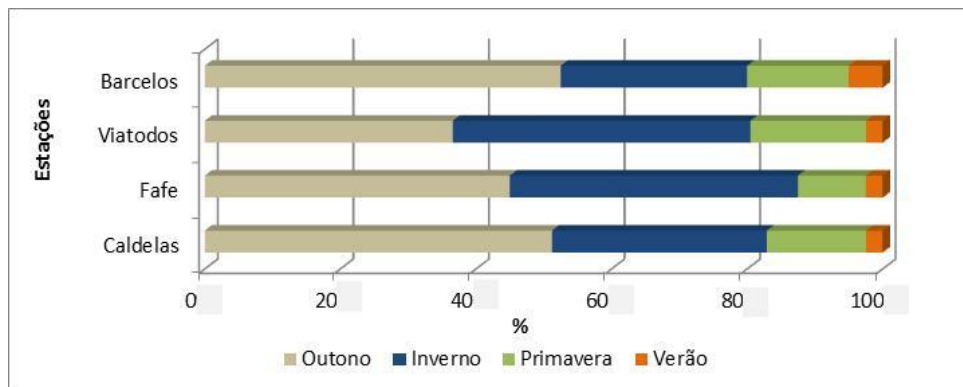


Figura 7.39. Frequência (%) de ocorrência de precipitações máximas diárias ao longo do ano na bacia do rio Este.

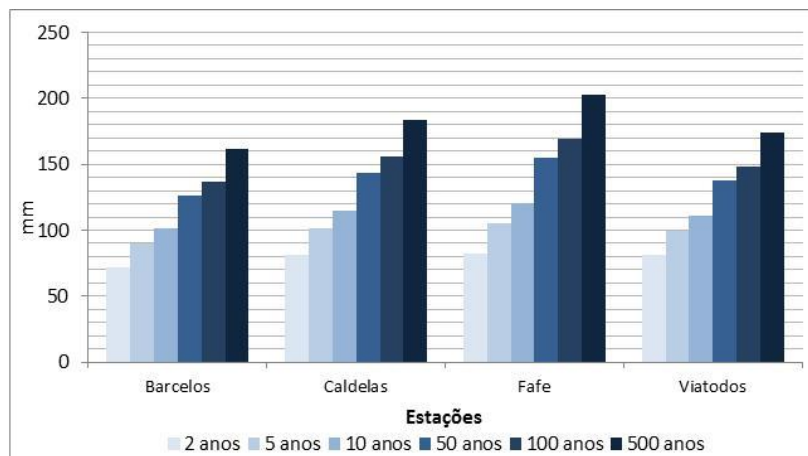


Figura 7.40. Máxima precipitação estimada, acumulada em 1 dia, para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Este.

Para a precipitação acumulada de 90 dias os valores mais baixos continuam a registar-se em Barcelos, variando entre os 777 mm para um período de retorno de 2 anos e 2213 mm para um período de retorno de 500 anos. Viatodos apresenta os valores mais elevados para os períodos de retorno de 2 anos, e Caldelas os valores mais elevados para os períodos de retorno de 5, 10, 50 e 100 anos. Fafe destaca-se com o valor mais elevado de precipitação estimada para 90 dias, para um período de retorno de 500 anos (2363 mm) (Figura 7.41).

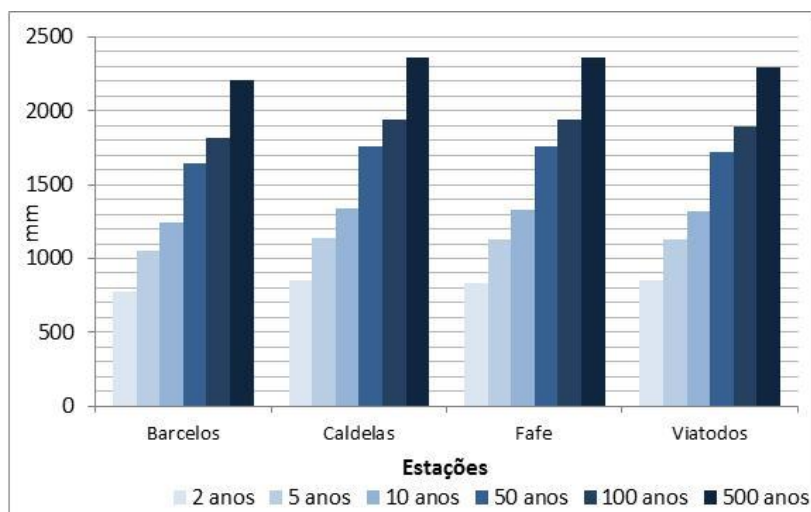


Figura 7.41. Máxima precipitação estimada, acumulada em 90 dias, para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Este.

#### 7.4. Bacia do rio Corgo

Na bacia do rio Corgo, a precipitação média nos dias com precipitação  $\geq 1$  mm, ronda os 13 mm, valor muito semelhante à média da região Norte (14 mm). Santa Marta da Montanha localizada na serra do Alvão, apresenta a média mais elevada (15 mm) enquanto a estação de Jou, no concelho de Murça e a este da serra do Alvão, exhibe o valor mais baixo (11 mm). O máximo de precipitação registado ocorreu na estação de Torre do Pinhão (175 mm) no dia 22 de abril de 1962. Jou foi a única estação que assinalou um máximo diário de precipitação inferior a 100 mm (Quadro 7.1).

A repartição dos dias com precipitação ( $P \geq 1$  mm), em nove classes de abundância diária (Figura 7.42: estações ordenadas pela classe mais elevada) mostra-nos as diferenças entre as estações de Santa Marta da Montanha e Lixa do Alvão com as restantes estações. Assim, Santa Marta da Montanha e Lixa do Alvão apresentam mais de 2% dos dias com precipitação  $\geq 60$  mm, enquanto nas restantes estações, este valor é inferior a 1% dos dias. O número de dias

com precipitação entre 1 e 10 mm situa-se entre os 54% em Lixa do Alvão e os 66% em Amarante (Figura 7.42).

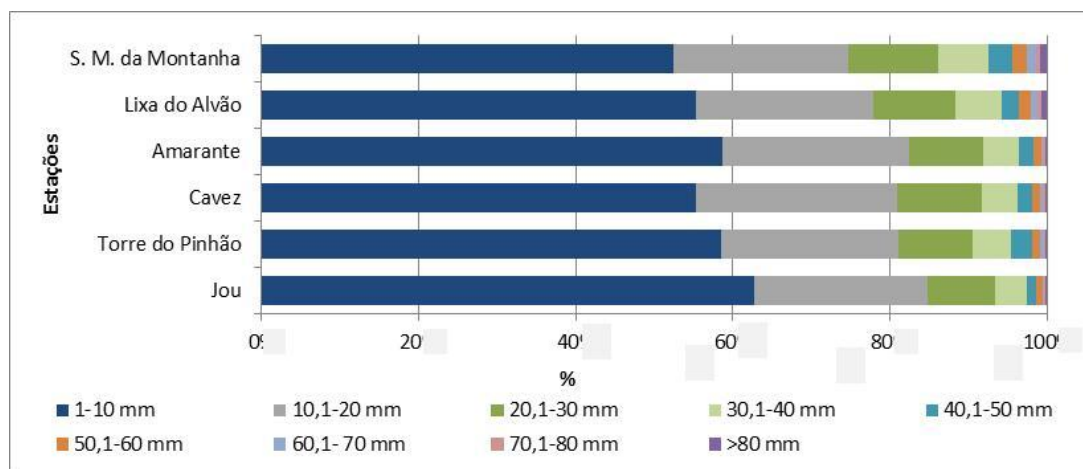


Figura 7.42. Repartição dos dias com precipitação ( $P \geq 1\text{mm}$ ) registados na bacia do rio Corgo, em nove classes de abundância diária.

A análise ao parâmetro da concentração diária da precipitação (CI) na bacia do Corgo mostra-nos desigualdades significativas entre as estações. Lixa do Alvão e Cavez apresentam um CI abaixo de 0,53 e em Santa Marta da Montanha é superior a 0,57 (Figura 7.3). Os resultados por estações do ano confirmam estas diferenças significativas. Em Lixa do Alvão o CI não ultrapassa os 0,52 para todas as estações do ano, enquanto em Santa Marta da Montanha o CI é superior a 0,55 em todas as estações do ano. O CI é mais elevado no verão nas estações de Amarante, Cavez, Jou e Santa Marta da Montanha e mais elevado na primavera em Lixa do Alvão. Os valores mais baixos de CI situam-se no inverno em todas as estações (Figura 7.4 e Figura 7.43).

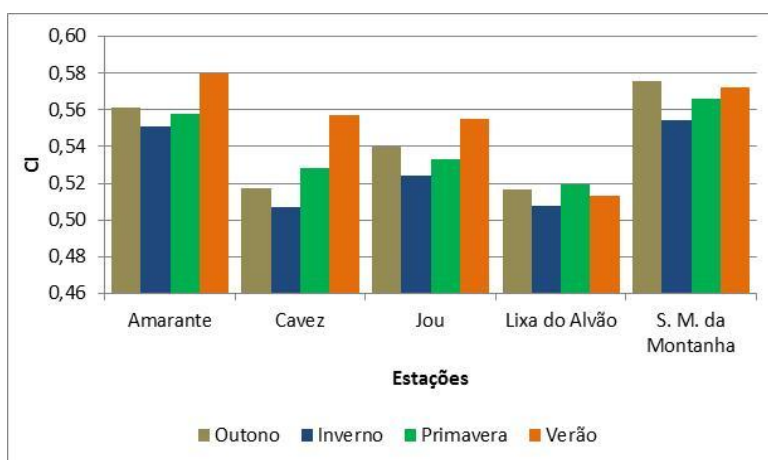


Figura 7.43. Índice de concentração diária da precipitação sazonal na bacia do rio Corgo.

Como vimos anteriormente, o valor de precipitação máxima diária ocorreu em Torre do Pinhão. Os restantes valores máximos encontram-se próximos dos 100 mm nas estações de Amarante, Cavez e Jou e superiores a 130 mm em Santa Marta da Montanha e Torre do Pinhão (Figura 7.44).

Os valores máximos de precipitação em 5 dias são superiores a 400 mm em Lixa do Alvão e em Torre do Pinhão. Nas estações de Amarante e Jou os valores máximos de precipitação em 5 dias situam-se abaixo dos 250 mm (Figura 7.6 e Figura 7.44).

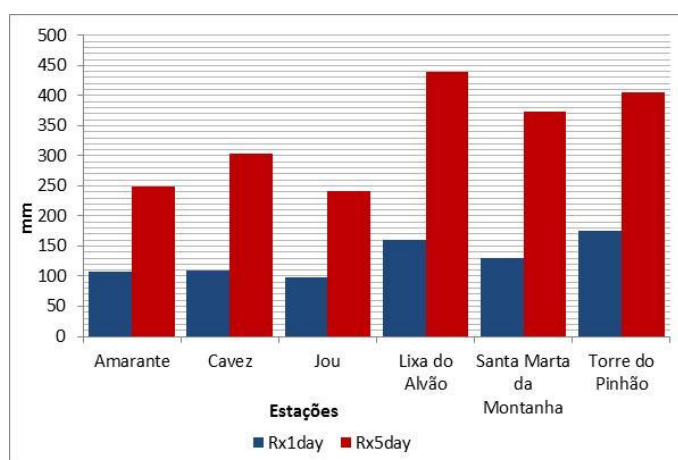


Figura 7.44. Quantidade máxima de precipitação em 1 dia (Rx1day) e em 5 dias (Rx5day) na bacia do rio Corgo.

Nesta área, ocorrem em média 44 dias por ano com precipitação  $\geq 10$  mm, 19 dias com precipitação  $\geq 20$  mm e 2 dias com precipitação  $\geq 50$  mm. Contudo, verificam-se desigualdades significativas entre as estações. Santa Marta da Montanha destaca-se com os valores mais elevados: 57 dias com precipitação  $\geq 10$  mm, 28 dias com precipitação  $\geq 20$  mm e 5 dias com precipitação  $\geq 50$  mm (Figura 7.45). De seguida, surge um grupo de estações composto por Amarante, Cavez, Lixa do Alvão e Torre do Pinhão, com valores idênticos, entre 41 e 48 dias com precipitação  $\geq 10$  mm, entre 18 e 21 dias com precipitação  $\geq 20$  mm e entre 1 e 2 dias com precipitação  $\geq 50$  mm.

É de salientar a importância da localização das estações face às serras do Alvão e Marão, nas diferenças do número de dias com precipitação  $\geq 10$ , 20 ou 50 mm. Jou que se situa a este da serra do Alvão apresenta os valores mais baixos, ou seja, 30 dias em média com precipitação  $\geq 10$  mm, 10 dias em média com precipitação  $\geq 20$  mm e 0 dias em média com precipitação  $\geq 50$  mm (Figura 7.45).

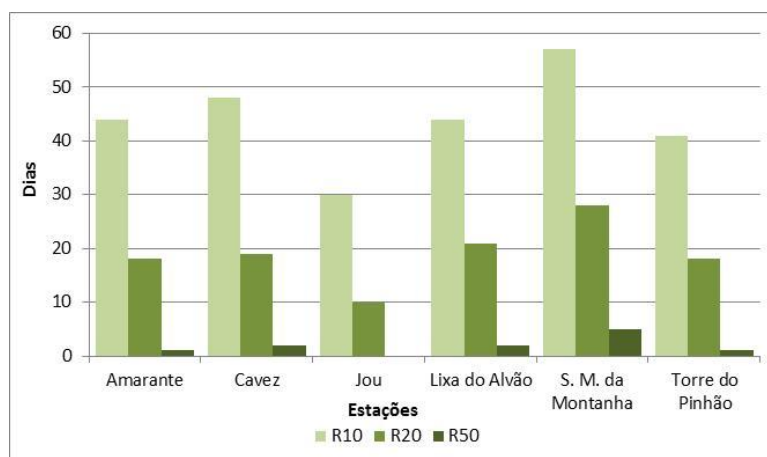


Figura 7.45. Número médio de dias com precipitação  $\geq 10$  mm (R10),  $\geq 20$  mm (R20) e  $\geq 50$  mm (R50) na bacia do rio Corgo.

Os dias com precipitação abundante ( $\geq 50$  mm) ocorrem sobretudo nos meses de inverno (36% dos dias). De seguida, o verão e o outono apresentam 24% em média, cada estação, dos dias com precipitação abundante. Nas estações de Amarante, Cavez, Jou e Torre do Pinhão, o verão surge em segundo lugar com a ocorrência de mais dias com precipitação abundante. No caso das estações de Lixa do Alvão e Santa Marta da Montanha o segundo lugar é ocupado pelo outono (Figura 7.46).

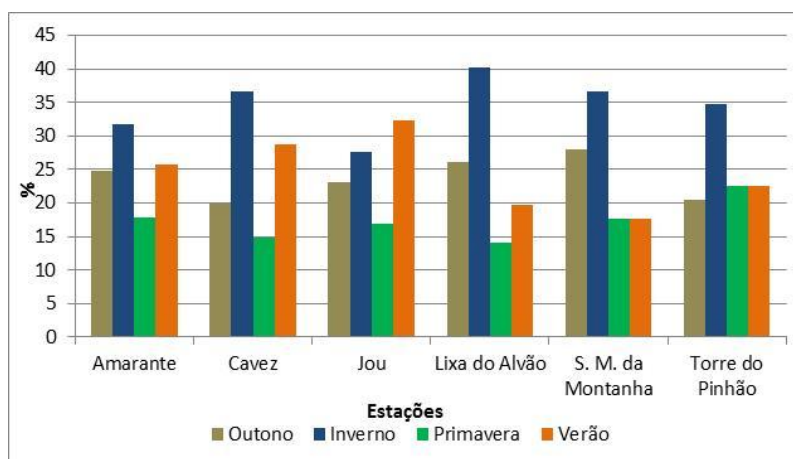


Figura 7.46. Dias com precipitação  $\geq 50$  mm em %, por estação do ano na bacia do rio Corgo.

A precipitação média anual superior ao percentil 95 da precipitação diária é em média de 293mm. Uma vez mais, Santa Marta da Montanha evidencia-se com o valor mais elevado: 434 mm. O valor mais baixo localiza-se na estação de Jou, com 189 mm de precipitação média anual superior ao percentil 95 da precipitação diária (Figura 7.13 e Figura 7.47).

O valor mais elevado da precipitação média anual superior ao percentil 99 da precipitação diária regista-se em Santa Marta da Montanha (152 mm) e o valor mais baixo em Jou (60 mm) (Figura 7.14 e Figura 7.47).

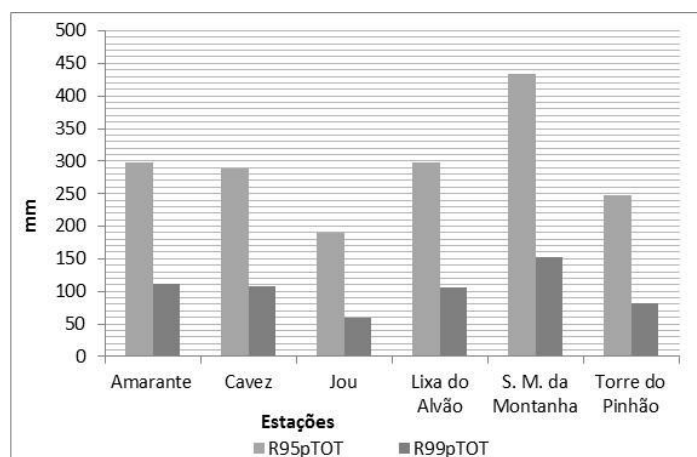


Figura 7.47. Precipitação média anual superior ao percentil 95 (R95pTOT) e 99 (R99pTOT) da precipitação diária na bacia do rio Corgo.

Na Figura 7.48 é possível observar as diferenças significativas entre as estações nas séries de precipitações máximas diárias. Assim é possível observar uma forte amplitude interquartílica nas estações de Lixa do Alvão, Cavez e Santa Marta da Montanha. Do lado oposto, estão as estações de Jou e Torre do Pinhão com uma fraca amplitude interquartílica. As estações de Amarante, Cavez e Jou apresentam uma assimetria das séries positiva, uma vez que a mediana se encontra mais próxima do primeiro quartil, enquanto as estações de Lixa do Alvão, Santa Marta da Montanha e Torre do Pinhão expõem uma assimetria negativa, com a mediana mais próxima do terceiro quartil (Figura 7.48).

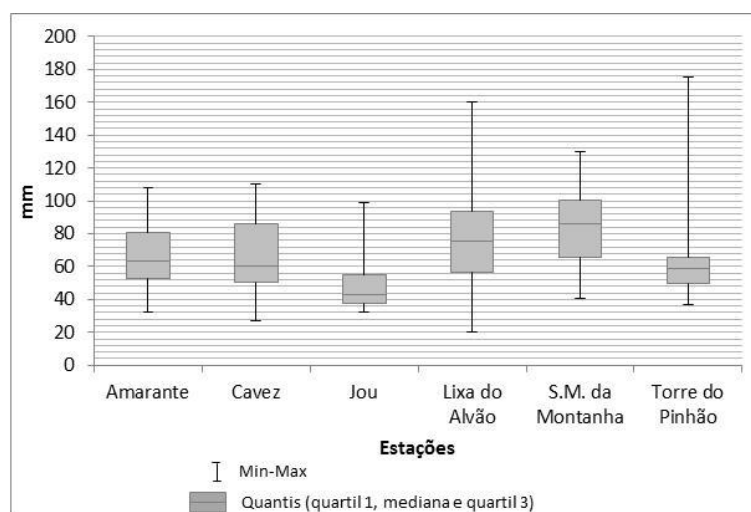


Figura 7.48. Quantis (Mediana, quartil 1 e quartil 3), máximos e mínimos das séries de precipitações máximas diárias na bacia do rio Corgo.



É no inverno que se verifica uma maior frequência na ocorrência das precipitações máximas diárias na maioria das estações (exceto Amarante), com uma média de 42% das ocorrências. De seguida, surge o outono com uma média de 35% das ocorrências das precipitações máximas diárias. No verão registaram-se cerca de 7% das ocorrências dos dias com precipitações máximas diárias (Figura 7.49: estações ordenadas pela frequência no Verão).

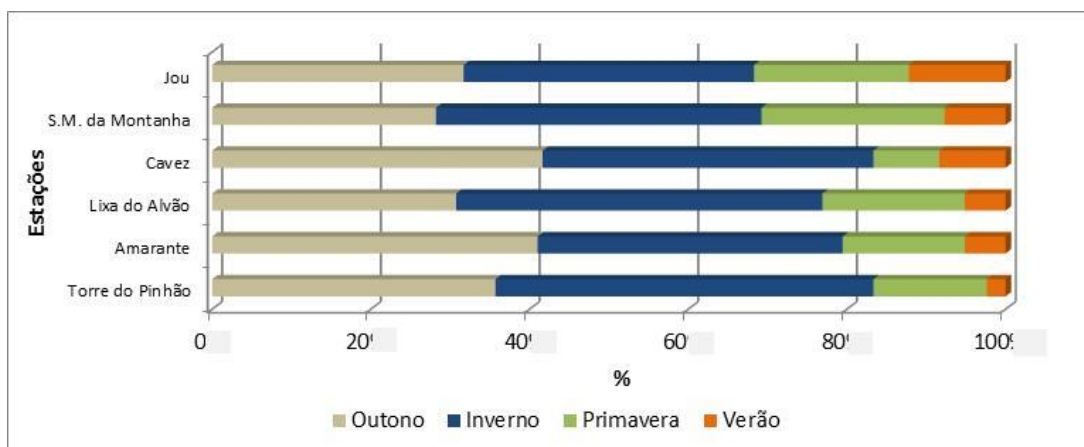


Figura 7.49. Frequência (%) de ocorrência de precipitações máximas diárias ao longo do ano na bacia do rio Corgo.

Para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 50, 100 e 500 anos, a precipitação estimada para 1 dia é mais baixa na estação de Jou. Os valores mais elevados para 2 e 5 anos de período de retorno localizam-se em Santa Marta da Montanha e para os restantes tempos de períodos de retorno em Lixa do Alvão (Figura 7.50).

A precipitação estimada acumulada para 90 dias continua a ser mais elevada em Lixa do Alvão e Santa Marta da Montanha, devendo também ser destacado o caso de Amarante. Jou continua a ser a estação com os valores mais baixos (Figura 7.51).

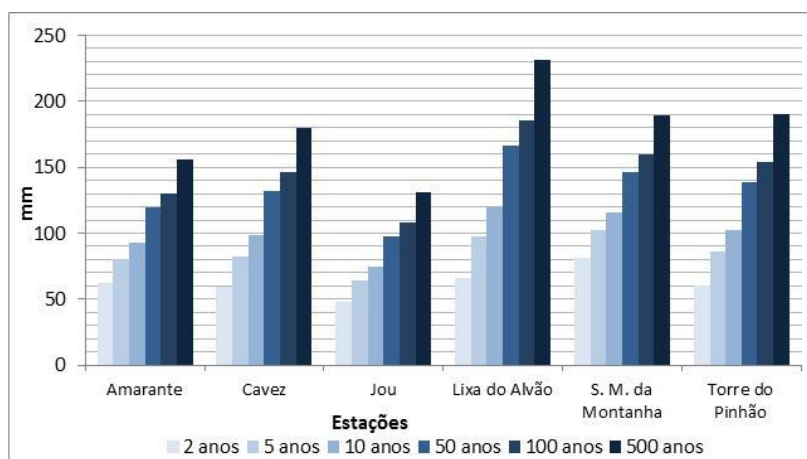


Figura 7.50. Máxima precipitação estimada, acumulada em 1 dia, para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Corgo.

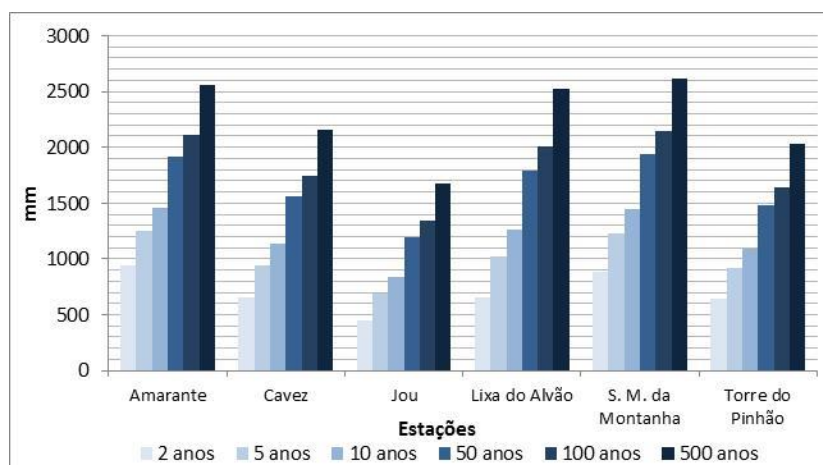


Figura 7.51. Máxima precipitação estimada, acumulada em 90 dias, para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Corgo.

## 7.5. Bacia do rio Távora

Na bacia do rio Távora, a precipitação média nos dias com precipitação  $\geq 1$  mm, foi de 9 mm. Este valor é o mais baixo das bacias em estudo e muito inferior à média da região Norte (14 mm). As estações de Celorico da Beira, Ervedosa, Folgares, Marialva e Pinhel, apresentam valores semelhantes, situados entre 6 mm em Ervedosa e os 8 mm em Celorico da Beira. Estas estações localizam-se na Beira Alta a este da bacia em estudo, sendo uma das regiões mais secas do país. Pelo contrário, a estação de Aguiar das Beiras, localiza-se a oeste da bacia e apresenta o valor mais elevado, com cerca de 12 mm. O máximo de precipitação mais elevado registado, assinalou-se na estação de Aguiar da Beira com 148 mm, ocorridos no dia 5 de fevereiro de 1979. A repartição dos dias com precipitação ( $P \geq 1$  mm), em nove classes de abundância diária (Figura 7.52: estações ordenadas pela classe mais elevada) mostra-nos a importância da classe mais baixa na estrutura dos dias com precipitação, com uma média de 72% dos dias com a ocorrência de 1 a 10 mm de precipitação diária. A média dos dias com precipitação  $\geq 60$  mm, nas estações em estudo é muito reduzida, sendo cerca de 0,2% dias. Mais uma vez, distingue-se a estação de Aguiar da Beira com cerca de 1% dos dias com precipitação superior a  $\geq 60$  mm. Nas restantes, este valor baixa para 0,1% dos dias (Figura 7.52).

Apenas duas estações da área da bacia do Távora foram utilizadas no cálculo da concentração diária da precipitação. Celorico da Beira apresenta os valores mais elevados tanto anualmente, como por estações do ano. Aguiar da Beira exibe valores mais baixos, entre os 0,518 no verão

e os 0,546 no outono. Em Celorico da Beira, é o outono que se destaca também com o CI mais elevado (0,576) seguidamente do verão com 0,565 (Figura 7.4 e Figura 7.53).

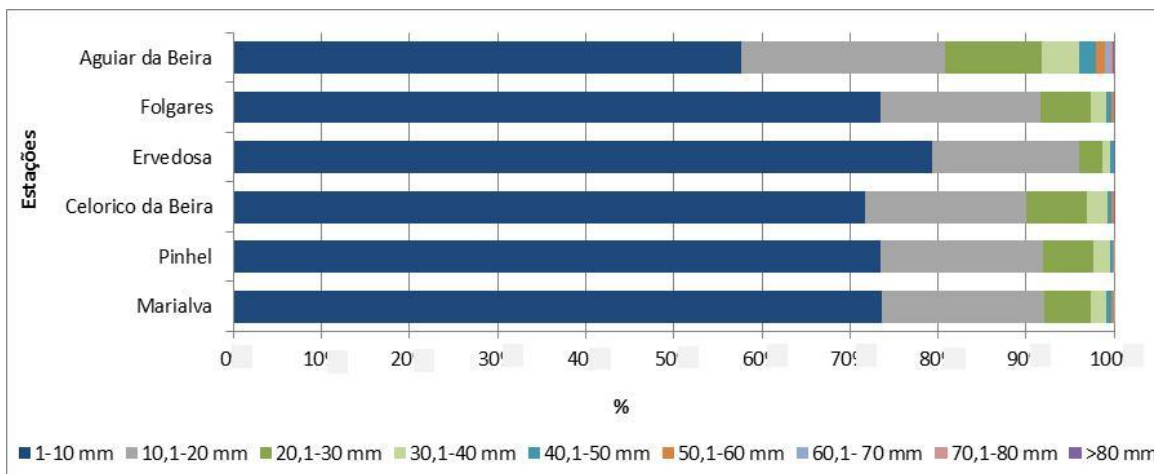


Figura 7.52. Repartição dos dias com precipitação ( $P \geq 1\text{mm}$ ) registados nas estações localizadas na bacia do rio Távora, em nove classes de abundância diária.

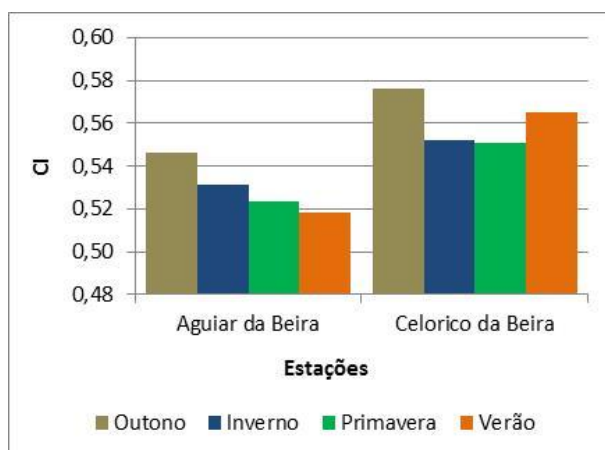


Figura 7.53. Índice de concentração diária da precipitação sazonal nas estações localizadas na bacia do rio Távora.

Aguiar da Beira regista os valores mais elevados de precipitação máxima diária em 1 (148 mm) e em 5 dias (324 mm). As restantes estações apresentam valores inferiores, situando-se entre os 65 mm (Pinhel) e os 114 mm (Ervedosa) para as precipitações máximas diárias e entre os 115 mm (Ervedosa) e os 206 mm (Celorico da Beira) para as precipitações máximas em 5 dias (Figura 7.5 e Figura 7.54).

Na bacia do rio Távora, ocorrem em média 23 dias por ano com precipitação  $\geq 10$  mm, 6 dias com precipitação  $\geq 20$  mm e 0 dias com precipitação  $\geq 50$  mm. No entanto, continuam a verificar-se as diferenças entre a estação de Aguiar da Beira e o grupo de estações constituído

por Celorico da Beira, Ervedosa, Folgares, Marialva e Pinhel. A estação de Aguiar da Beira regista 43 com precipitação  $\geq 10$  mm, 18 dias com precipitação  $\geq 20$  mm e 1 dia com precipitação  $\geq 50$  mm. No outro grupo de estações, o número de dias é bastante inferior, não se registando em média, nenhum dia com precipitação  $\geq 50$  mm (Figura 7.55).

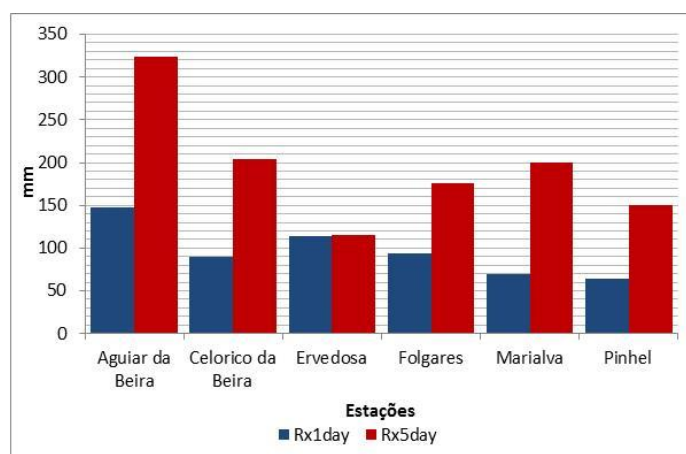


Figura 7.54. Quantidade máxima de precipitação em 1 dia (Rx1day) e em 5 dias (Rx5day) na bacia do rio Távora.

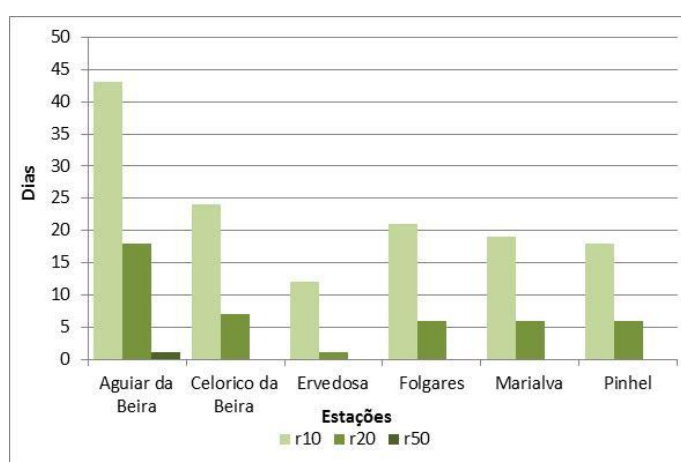


Figura 7.55. Número médio de dias com precipitação  $\geq 10$  mm (R10),  $\geq 20$  mm (R20) e  $\geq 50$  mm (R50) na bacia do rio Távora.

Os dias com precipitação abundante ( $\geq 50$  mm) ocorrem sobretudo nos meses de verão. No total, 47% de dias com precipitação  $\geq 50$  mm ocorreram no verão, seguido dos meses inverno e outono com 24% e 20% respetivamente dos dias. Se analisarmos os resultados por estações confirma-se a dicotomia entre os dois grupos de estações referidos anteriormente. Aguiar da Beira regista mais dias com precipitação abundante no inverno, enquanto as restantes

estações a maioria dos dias com precipitação abundante ocorre no verão, com mais de 70% dos dias a ocorrerem nesta estação (Figura 7.56).

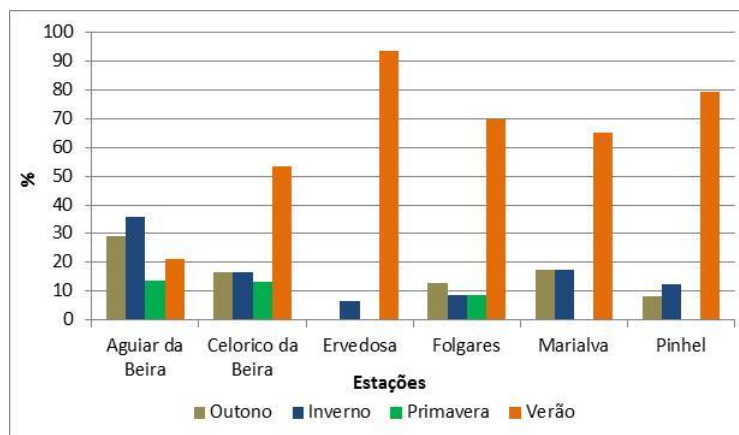


Figura 7.56. Dias com precipitação  $\geq 50$  mm em %, por estação do ano na bacia do rio Távora.

O número médio de dias consecutivos com precipitação superior a 1 mm segue o mesmo padrão, sendo em Aguiar da Beira de 12 dias e nas restantes estações, entre 6 dias em Ervedosa e 9 dias em Celorico da Beira (Figura 7.12).

A precipitação média anual superior ao percentil 95 da precipitação diária é em média de 172 mm, apesar de se verificarem desigualdades entre as estações. Aguiar da Beira regista 276 mm e Ervedosa regista 104 mm de precipitação média anual superior ao percentil 95 da precipitação diária (Figura 7.13 e Figura 7.57). A precipitação média anual superior ao percentil 99 da precipitação diária atinge o seu valor mais elevado em Aguiar da Beira com 102 mm e o valor mais baixo em Ervedosa, com 36 mm (Figura 7.14 e Figura 7.57).

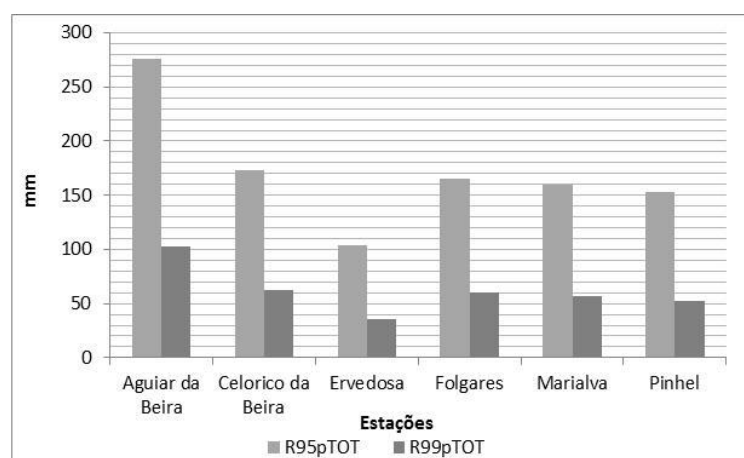


Figura 7.57. Precipitação média anual superior ao percentil 95 (R95pTOT) e 99 (R99pTOT) da precipitação diária na bacia do rio Távora.

Na Figura 7.58 é possível observar os quantis (mediana, quartil 1 e quartil 3), os máximos e os mínimos das séries de precipitações máximas diárias nas estações da bacia do rio Távora. As séries apresentam reduzidas diferenças entre os diferentes quantis, mostrando assim uma reduzida variação interanual das precipitações máximas diárias. Nas estações de Aguiar da Beira, Celorico da Beira, Ervedosa e Marialva a assimetria das séries é positiva, com a mediana mais próxima do primeiro quartil. As estações Aguiar da Beira e Celorico da Beira exibem máximos de precipitações diárias muito elevados comparativamente aos restantes valores das séries (Figura 7.58).

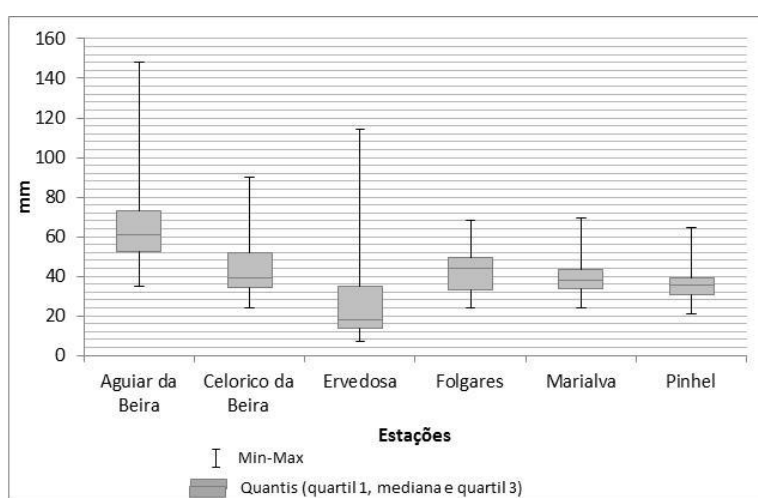


Figura 7.58. Quantis (Mediana, quartil 1 e quartil 3), máximos e mínimos das séries de precipitações máximas diárias na bacia do rio Távora.

Na bacia do rio Távora, verifica-se um predomínio na ocorrência das precipitações máximas diárias nos meses inverno, com a exceção das estações de Celorico da Beira e Pinhel, em que tal predominância ocorre no outono. No verão registaram-se menos dias com precipitações máximas diárias, na maioria das estações (Figura 7.59).

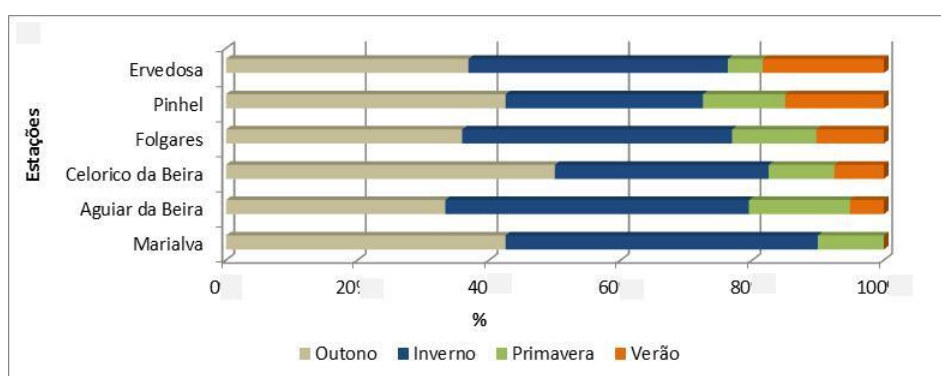


Figura 7.59. Frequência (%) de ocorrência de precipitações máximas diárias ao longo do ano nas estações localizadas na bacia do rio Távora.

Para um período de retorno de 2, 5, 10, 50, 100 e 500 anos, a precipitação estimada para 1 dia é mais elevada em Aguiar da Beira. Ervedosa e Pinhel apresentam os valores mais baixos, situando-se entre os 25 mm para um período de retorno de 2 anos em Ervedosa e os 83,5 mm para um período de retorno de 500 anos em Pinhel (Figura 7.60). Aguiar da Beira é a estação que se distingue com os valores mais elevados para os diferentes períodos de retorno (2, 5, 10, 50, 100 e 500 anos) e para as diferentes durações (5,30 e 90 dias). As restantes estações apresentam valores de precipitação estimada muito inferiores, destacando-se Ervedosa, com os valores mais baixos de precipitação estimada para os diferentes períodos de retorno (Figura 7.61).

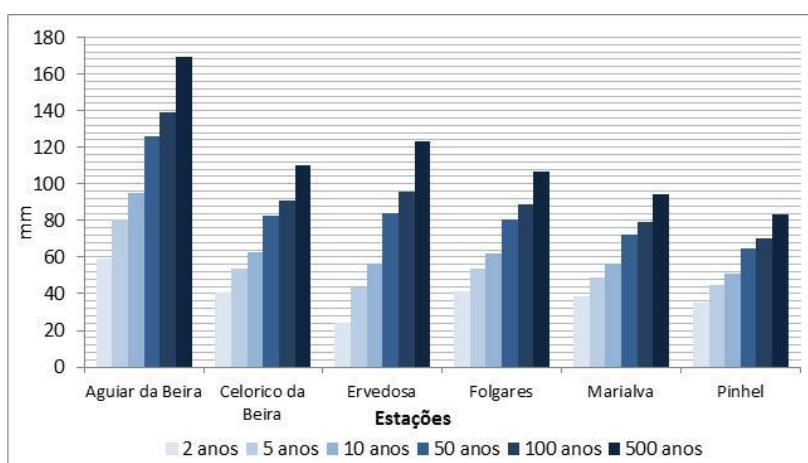


Figura 7.60. Máxima precipitação estimada, acumulada em 1 dia, para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Távora.

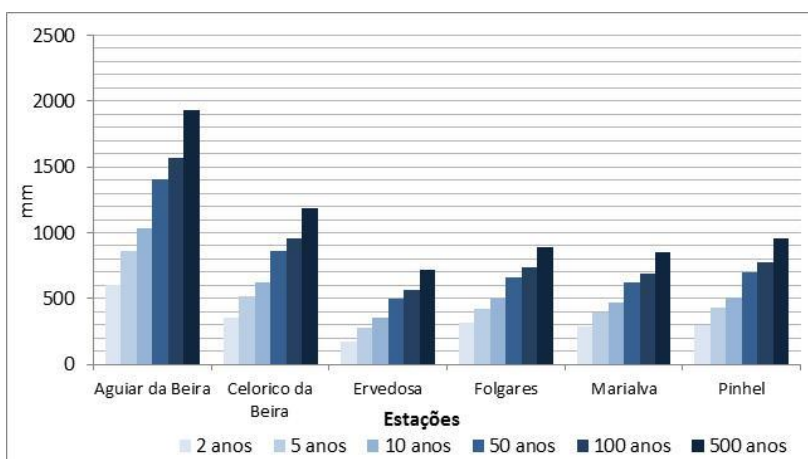


Figura 7.61. Máxima precipitação estimada, acumulada em 90 dias, para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Távora.

## 7.6. Conclusão



De uma forma geral, as conclusões reforçam as ideias já existentes sobre o ritmo das precipitações na região Norte. O conjunto de resultados apresentados coloca em evidência os diversos contrastes espaciais nas características pluviométricas à escala diária na região Norte e, em particular, nas quatro bacias em estudo. A abundância diária da precipitação, o grau de concentração da precipitação, os extremos da precipitação diária ou as precipitações estimadas para as diferentes durações, mostram uma grande variabilidade nas precipitações diárias, localizando-se os valores mais elevados no Noroeste da região, nomeadamente nas montanhas do Alto Minho. À medida que caminhamos para o interior da região Norte, os valores dos parâmetros calculados vão diminuindo, atingindo os valores mais baixos nas áreas do Douro superior e vale da Vilariça. As serras da Peneda-Gerês constituem uma das regiões mais pluviosas do país, registando os valores diários mais elevados de Portugal Continental. No que diz respeito às precipitações máximas diárias, o estudo efetuado confirma as diferenças significativas entre o vale do Alto Douro e as montanhas do Alto Minho. Os quantitativos máximos diários atingidos, são muito elevados nesta região e registam-se particularmente nos meses de inverno. No Alto Vale do Douro, os valores máximos diários são bem mais reduzidos e apresentam uma maior frequência de ocorrência nos meses de verão.

Dos resultados da análise às bacias de estudo podemos concluir:

- Hierarquizando as bacias em estudo pelos quantitativos de precipitação diária e máximas diárias, a bacia do Vez surge em primeiro lugar. De seguida, surgem as bacias do Este e Corgo e por fim a bacia do Távora, com os valores mais reduzidos dos parâmetros analisados.
- A bacia do Vez, localizada na área mais pluviosa do país, apresenta os valores dos parâmetros estudados mais elevados. As particularidades do relevo nesta área fazem com que sejam registados quantitativos de precipitação diária mais elevados, maior frequência de dias precipitação abundante e máximos diários de precipitação também mais elevados. Os eventos extremos de precipitação ocorrem com mais frequência e por isso os diferentes períodos de retorno apresentam valores de precipitação estimada também mais elevados.
- A bacia do Este, no Minho e situada entre as bacias do Cávado e Ave, próxima do litoral da região apresenta valores de precipitação diária superiores à média da região mas mais baixos do que os que se verificam na Bacia do Vez. As estações localizadas nesta área apresentam características pluviométricas relativamente pouco contrastadas. A frequência de dias com precipitação abundante diminui e as

precipitações máximas diárias apresentam uma variabilidade interanual relativamente baixa.

- Na bacia do rio Corgo, os resultados são os mais próximos da média da região Norte. A disposição das serras do Marão e Alvão fazem com que se verifiquem diferenças significativas entre as estações desta área. As estações localizadas nas montanhas apresentam valores dos parâmetros analisados mais elevados, enquanto a estação de Jou localizada em posição planáltica e a leste destas barreiras orográficas apresenta valores de precipitação bem mais baixos, não registando em média nenhum dia com precipitação abundante ( $P \geq 50$  mm)
- As estações localizadas na bacia do Távora são, comparativamente, as que apresentam os quantitativos de precipitação diária mais baixos. Esta bacia localizada na margem esquerda do rio Douro, e tendo parte da sua extensão na Beira Alta, apresenta os valores dos parâmetros calculados de precipitação dos mais baixos da região Norte. A variabilidade interanual das precipitações máximas diárias é relativamente reduzida e os dias com precipitação abundante são escassos, ocorrendo predominantemente no verão.

Desta forma, nas quatro bacias em estudo, os contrastes espaciais de precipitação refletem, antes de mais, a atuação conjunta de fatores como o relevo, a exposição das vertentes aos fluxos de ar húmido e a continentalidade. As terras altas do Noroeste são áreas chuvosas durante todo o ano, enquanto em Trás-os-Montes e Alto Douro, os meses de verão recebem pouca precipitação, verificando-se por vezes, eventos de chuva concentrada em poucas horas, o que explica a ocorrência de mais dias com precipitação abundante no verão. Os valores de precipitação aumentam com a altitude, o que se verifica nas serras da Peneda-Gerês, Marão e Alvão, estando a bacia do rio Vez sujeita a precipitação frequente e mais intensa ao longo do ano. Próximo do oceano Atlântico, as precipitações são frequentes mas pouco intensas, o que acontece na bacia do Este. A bacia do Corgo ilustra bem as variações espaciais que o conjunto montanhoso Alvão e Marão determina, notando-se efetivamente o contraste entre as estações localizadas nestas montanhas (mais chuvosas) e a este (muito menos chuvosas). O vale do Douro e os planaltos situados a sul, abrigados pelas serras situadas a ocidente e pela cordilheira central, são das regiões mais secas do país, como acontece na bacia do rio Távora. Este trabalho apresenta uma limitação relacionada com a falta de séries completas e suficientemente longas de dados horários. Os dados horários permitiriam analisar com maior pormenor a intensidade da precipitação com grande relevância para o estudo das cheias rápidas.

## Capítulo 8. Regimes hidrológicos

### 8.1. Bacia do rio Vez

#### 8.1.1. Caudais anuais

A estação de Pontilhão de Celeiros localizada no rio Vez, a cerca de 8,4 km da foz, apresenta um caudal médio de 4159 m<sup>3</sup>/s. Do total dos 26 anos da série, 17 assinalaram caudais anuais inferiores à média. O módulo é superior à mediana o que indica uma maior probabilidade de registar caudais anuais inferiores ao módulo. A irregularidade do caudal é bem notória no coeficiente de variação (48,7%), no coeficiente de flutuação (6,3) e no coeficiente de irregularidade intrínseca (0,5). O caudal mais elevado da série registou-se no ano hidrológico de 1978/1979, com 9393 m<sup>3</sup>/s, enquanto o caudal mais baixo registou-se em 1970/71 com 1494 m<sup>3</sup>/s (Quadro 8.1).

Quadro 8.1. Dados estatísticos da estação de Pontilhão de Celeiros (1960-61 a 1989-1990).

Pontilhão de Celeiros (1960-1990)	
Altitude (m)	44
Ano mais húmido (QM) (m <sup>3</sup> /s)	9393,0
Ano mais seco (Qm) (m <sup>3</sup> /s)	1493,8
Módulo (m <sup>3</sup> /s)	4158,8
Mediana (m <sup>3</sup> /s)	3688,9
Desvio Padrão (m <sup>3</sup> /s)	2026,9
Coef. de variação (%)	48,7
Nº de Anos Inferior ao Módulo	17
Caudal Específico (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	15,8
Amplitude de variação	7899,2
Coeficiente de flutuação	6,3
Coef. Irregularidade Intrínseca (I)	0,5

Ao analisarmos a Figura 8.1 podemos verificar a variabilidade anual da série. Apesar de não existirem dados entre os anos hidrológicos de 1973/74 a 1977/78, verifica-se uma ligeira tendência de diminuição do caudal anual. Também se constata três picos com valores superiores a 7270 m<sup>3</sup>/s: 1965/66, 1968/69 e 1978/79.

Estas observações revelam claramente a influência das precipitações nos caudais anuais, uma vez que estes três anos registam também os valores mais elevados entre 1960/61 a 1989-90, na estação pluviométrica de Casal Soeiro.

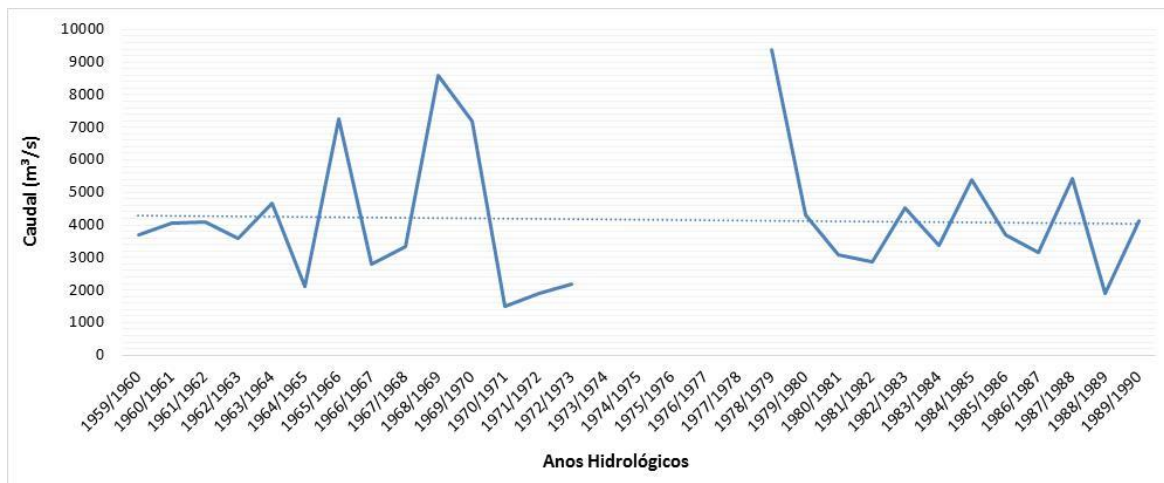


Figura 8.1. Caudais anuais e linha de tendência da estação de Pontilhão de Celeiros.

A distribuição das classes do coeficiente hidroclimático que definem os anos de escassez ou de abundância de escoamento mostra que se registaram no período de análise (1959/60 a 1989/90) mais anos em escassez do que em abundância de escoamento (Figura 8.2). O coeficiente de achatamento (AG) é de 0,77, indicando um histograma achatado.

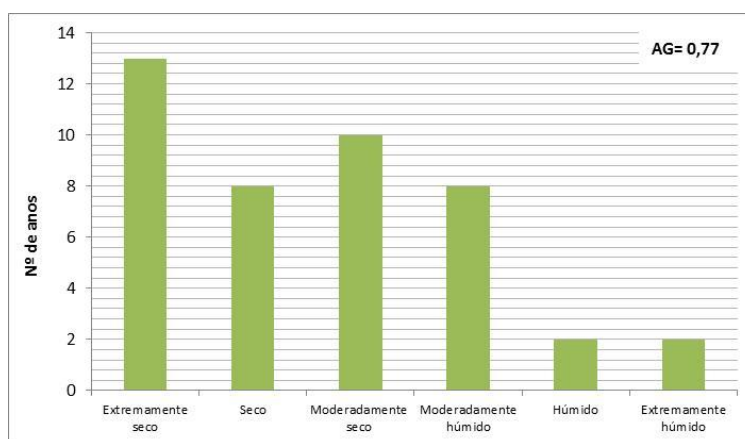


Figura 8.2. Histograma de frequência dos anos com características secas, normais e húmidas da série de Pontilhão de Celeiros. AG – Coeficiente de Achatamento.

É perceptível que os períodos secos estão em maior número que os períodos húmidos, pela análise da distribuição do coeficiente hidroclimático. No total da série entre 1960/61 a

1989/90 ocorreram 3 períodos húmidos e 6 períodos secos. A comparação entre a precipitação anual da estação de Casal Soeiro e o caudal anual de Pontilhão de Celeiros, não revela um coeficiente de determinação muito elevado ( $R^2=0,66$ ). Esta situação pode dever-se ao facto das estações pluviométrica e hidrométrica se encontrarem a uma distância de 1 km uma da outra (Figura 8.4).

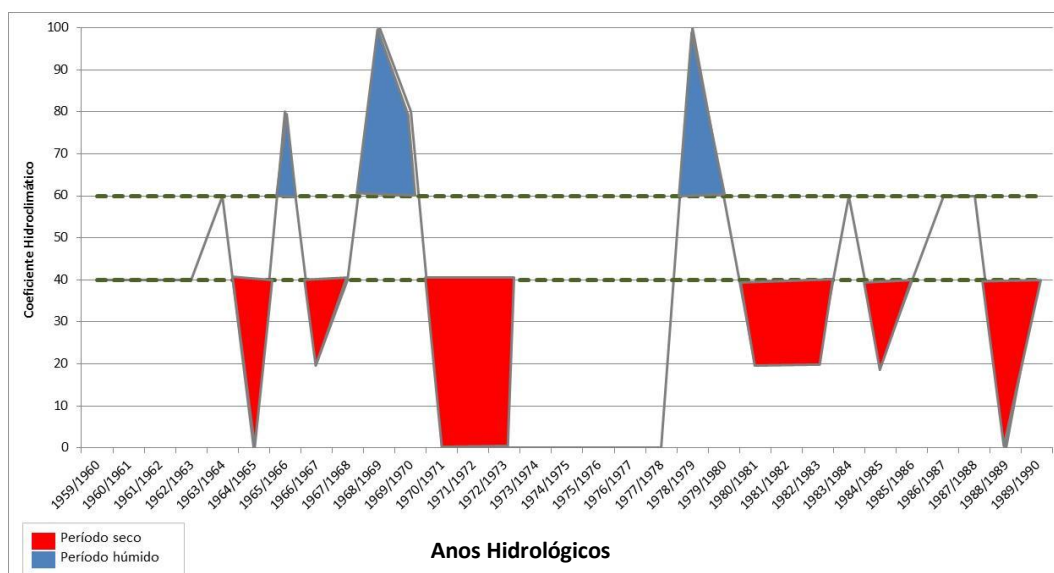


Figura 8.3. Coeficiente hidroclimático para a série de Pontilhão de Celeiros.

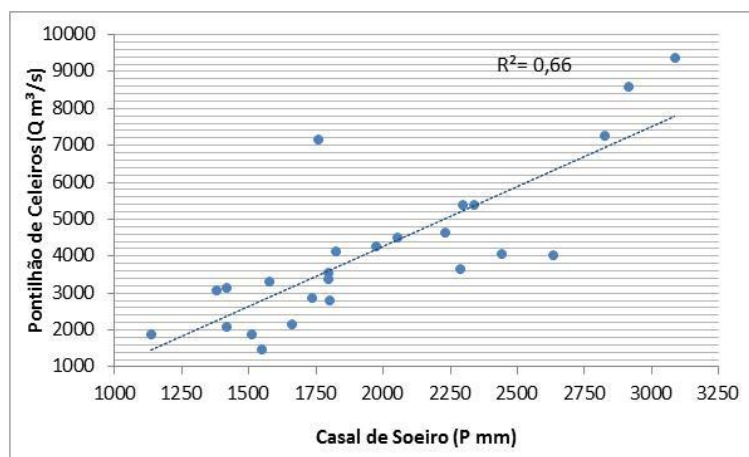


Figura 8.4. Relação da precipitação anual com o caudal anual na bacia do Vez.

### 8.1.2. Caudais mensais

O regime mensal do rio Vez é marcado pela forte variação estacional. Assim janeiro apresenta o coeficiente mensal do caudal (cmc) mais elevado. De seguida, destacam-se os meses de

dezembro e fevereiro. O período de abundância de escoamento, ou seja, com os cmc superiores ao módulo anual ( $> 1$ ), tem a duração média de 5 meses, de dezembro a abril. Os meses que registam os mínimos são julho, agosto e setembro ( $\text{cmc} = 0,08$ ) (Figura 8.5). Seguindo as definições apresentadas por Ramos (1994), de  $\text{cmc} > 1$  para os meses de abundância de escoamento e de  $\text{cmc} < 0,25$  para os meses de estiagem, podemos verificar que o rio Vez, apresenta em média 5 meses com abundância (dezembro a abril), 3 meses de estiagem (julho a setembro) e 4 meses de transição (outubro, novembro, maio e junho) (Quadro 8.2).

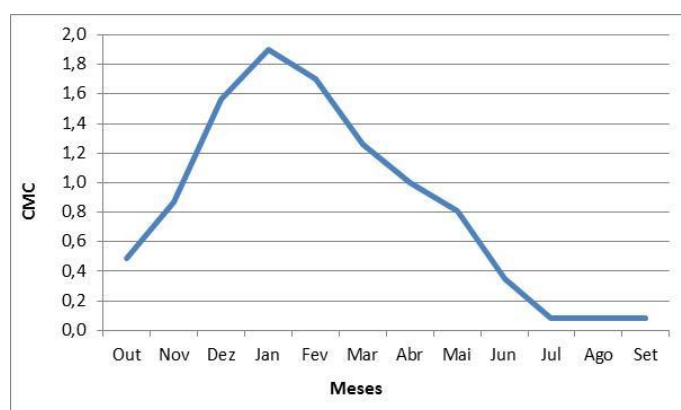


Figura 8.5. Coeficiente mensal do caudal da série de Pontilhão de Celeiros.

Quadro 8.2. Meses de abundância e escassez de escoamento e precipitação média mensal de 1960 a 1990.

Rio Vez												
Meses	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Meses de abundância e escassez de escoamento												
Precipitação Média Mensal	206,2	234,7	291,3	281,3	233,2	171,3	154,1	134,1	63,6	30,3	35,1	110,3

Meses de Transição

Meses de Abundância de Escoamento (cmc > 1)

Meses de estiagem (cmc < 0,25)

Se compararmos os meses de abundância e escassez com os valores médios de precipitação, podemos verificar que os meses de abundância de dezembro e janeiro correspondem aos meses com valores mais elevados de precipitação mensal. Os meses de fevereiro, março e abril, já apresentam gradualmente valores de precipitação mais baixos, apesar de continuarem a ser meses de abundância de escoamento (Quadro 8.2).

O regime mensal fluvial é bastante variável de ano para ano. Deste modo, enquanto o módulo não ultrapassa os 800 m<sup>3</sup>/s em janeiro, nos anos em que se ultrapassa o percentil 99, este valor sobe para cerca de 4000 m<sup>3</sup>/s. É interessante verificar, que o mês em que se atinge o

percentil 90 mais elevado é dezembro e o mês com o percentil 95 mais elevado é fevereiro. Do lado oposto, estão os meses com o percentil 25. O valor mais elevado ocorre em janeiro com 292 m<sup>3</sup>/s e o mais baixo em agosto, sem caudal, ou seja, 0 m<sup>3</sup>/s. Agosto é também o mês de maior escassez nos percentis 90 e 95 (36 e 45 m<sup>3</sup>/s, respetivamente) enquanto no percentil 99 é julho que apresenta maior escassez (143 m<sup>3</sup>/s). Aliás, o percentil 99, de agosto, é bastante superior (405 m<sup>3</sup>/s) (Figura 8.6).

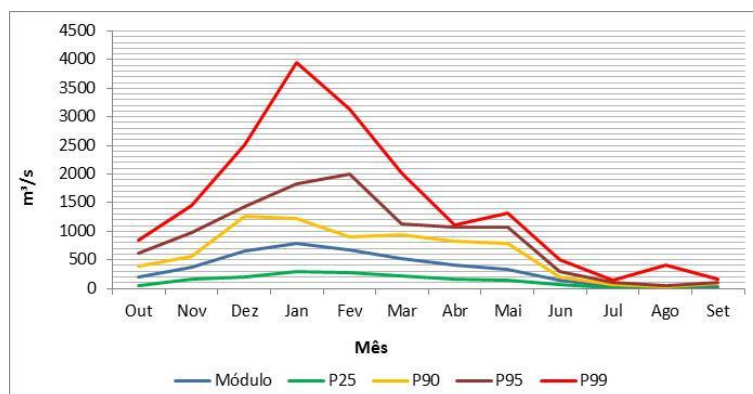


Figura 8.6. Módulo e percentis por meses do ano em Pontilhão de Celeiros.

A irregularidade é confirmada pelos coeficientes de variação, sendo os valores mais elevados registados nos meses de agosto e setembro. Como refere Ramos (1994, p. 82) “Qualquer situação chuvosa, no verão, pode originar desvios-padrão muito grandes e ampliar enormemente os coeficientes de variação”. A menor irregularidade, em termos relativos, acontece nos meses de abril e junho (Figura 8.7).

Apenas fevereiro não registou nenhum mês com caudal de estiagem ( $cmc < 0,25$ ). Janeiro e abril assinalaram cerca de 4% dos meses com caudal de estiagem. Do lado oposto, encontram-se os meses de verão, em que se destaca o mês de agosto com 96% dos meses, com caudal de estiagem. Julho e setembro registam mais de 84% dos meses com caudal de estiagem (Figura 8.8).

Na Figura 8.9 está patente o número de meses com caudal nulo, mostrando a severidade da estiagem nos meses de verão. Assim, o destaque vai para agosto, com 12 meses sem o registo de qualquer valor de caudal.

De seguida, surgem setembro e julho com 5 e 4 meses, respetivamente. Outubro também registou um mês com caudal nulo, no total dos 26 anos da série. De novembro até junho não se registaram meses sem caudal (Figura 8.9).



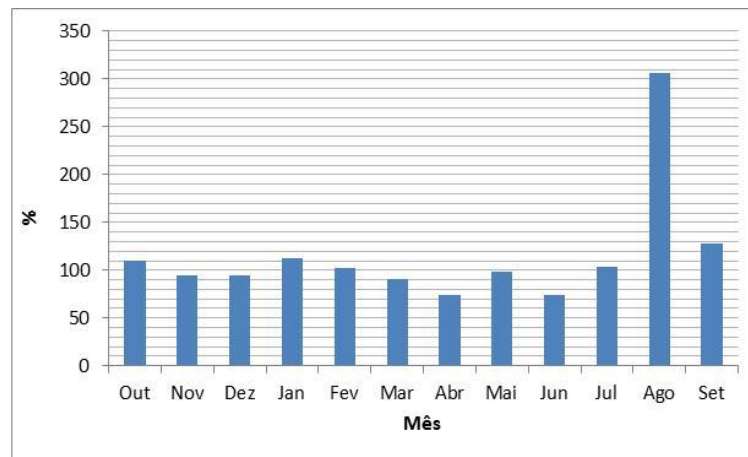


Figura 8.7. Coeficiente de variação mensal dos caudais em Pontilhão de Celeiros.

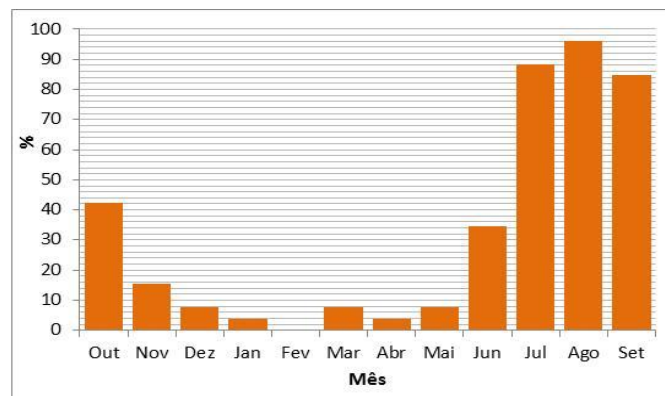


Figura 8.8. Meses com caudal de estiagem ( $cmc < 0,25$ ) em %, em Pontilhão de Celeiros.

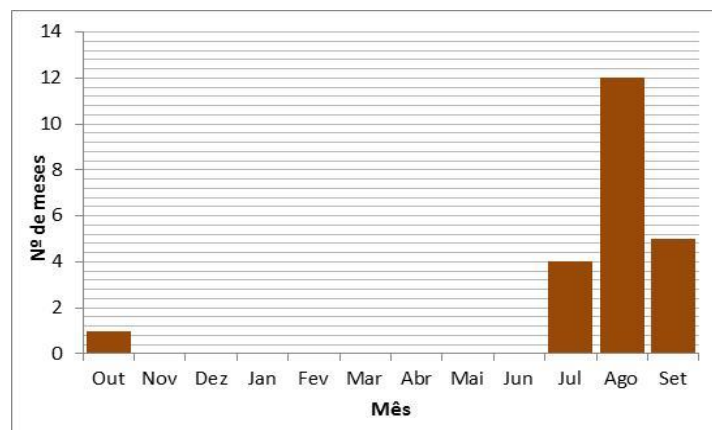


Figura 8.9. Número de meses sem caudal ( $Q=0$ ) em Pontilhão de Celeiros.

### 8.1.3. Caudais diários e máximos anuais

A curva de duração dos caudais médios diários indica-nos que o caudal médio diário é de 12 m<sup>3</sup>/s. Cerca de 50 dias por ano, em média, apresentam um caudal diário inferior a 1 m<sup>3</sup>/s e cerca de 30 dias por ano expõem um caudal médio diário superior a 30 m<sup>3</sup>/s (Figura 8.10).

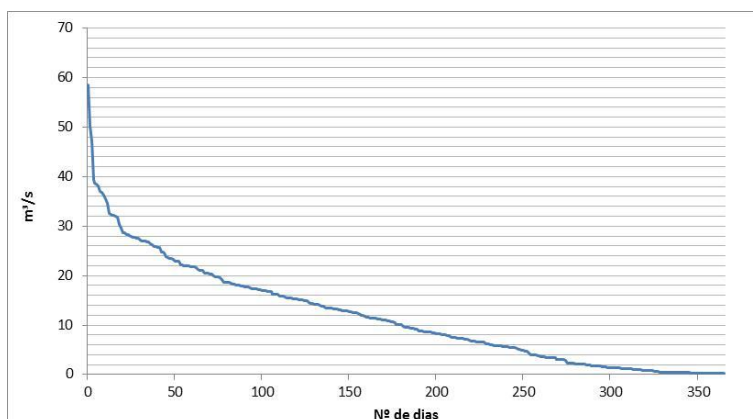


Figura 8.10. Curva de duração dos caudais médios diários em Pontilhão de Celeiros.

No total da série, a média do caudal máximo instantâneo anual é de 279 m<sup>3</sup>/s. O valor mais elevado ocorreu no dia 18 de janeiro de 1969 com 1100 m<sup>3</sup>/s. Verifica-se que 50% dos dias com máximos anuais ocorrem nos meses de inverno. Fevereiro registou 5 dias, dezembro e janeiro assinalaram 4 dias, cada. De seguida, na primavera também se observaram 4 dias com caudais máximos anuais nos meses março e abril. Os meses de verão e setembro não exibem qualquer máximo anual (Figura 8.11). O coeficiente de flutuação de cheia (CFC) indica-nos que o caudal máximo anual ultrapassa em média 60 vezes o valor do caudal mediano. No entanto, no ano hidrológico de 1963/64, este valor atingiu cerca de 200 vezes o valor do caudal mediano.

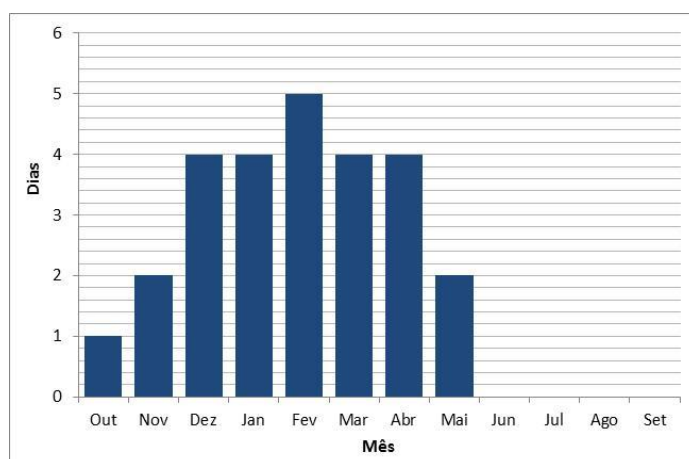


Figura 8.11. Número de dias de ocorrência dos máximos de caudal anual em Pontilhão de Celeiros, por mês.

Os valores dos caudais máximos anuais para os diferentes períodos de retorno estão presentes na Figura 8.12. Assim, estes valores vão desde os 246 m<sup>3</sup>/s para um período de retorno de 2 anos até os 1414 m<sup>3</sup>/s para um período de retorno de 500 anos (Figura 8.12).

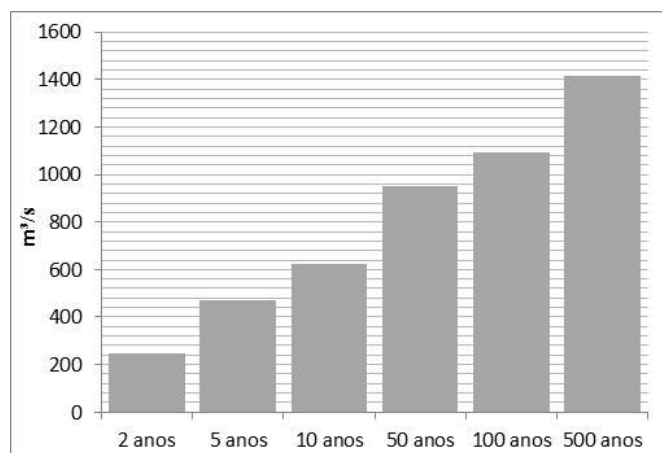


Figura 8.12. Caudais para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Vez.

## 8.2. Bacia do rio Este

### 8.2.1. Caudais anuais

A estação de Ponte Junqueira, localizada a cerca de 3,6 km da foz, tem apenas 20 anos de dados diários, logo os resultados aqui apresentados, estão condicionados pela duração mais reduzida da série. O caudal médio anual é de 2159 m<sup>3</sup>/s sendo que, 13 dos 20 anos registaram um caudal inferior ao módulo.

Quadro 8.3. Dados estatísticos da estação de Ponte Junqueira (1977-78 a 1999-2000).

Ponte Junqueira (1977/78-1999/00)	
Altitude (m)	44
Ano mais húmido (QM) (m³/s)	4682,6
Ano mais seco (Qm) (m³/s)	853,6
Módulo (m³/s)	2159,3
Mediana (m³/s)	2023,6
Desvio Padrão (m³/s)	926,5
Coef. de variação (%)	42,9
Nº de Anos Inferior ao Módulo	13
Caudal Específico (m³/s/km²)	8,9
Amplitude de variação	3829,0
Coeficiente de flutuação	5,5
Coef. Irregularidade Intrínseca (I)	0,4

O módulo superior à mediana também indica uma maior probabilidade de se registarem caudais anuais inferiores ao módulo. Os valores dos caudais anuais apresentam uma irregularidade visível nos coeficientes de variação (42,9%), de flutuação (5,5) e de irregularidade intrínseca (0,4). O caudal mais elevado da série registou-se no ano hidrológico de 1978/1979, com 4682,6 m<sup>3</sup>/s, enquanto o caudal mais baixo ocorreu no ano hidrológico de 1980/81 com 854 m<sup>3</sup>/s (Quadro 8.3).

Na Figura 8.13 está patente a variabilidade interanual do caudal em Ponte Junqueira. Entre 1977/78 a 1999/00 verifica-se uma ligeira diminuição dos valores de caudal. No entanto estes resultados são influenciados quer pelo reduzido número de dados da série (20 anos), quer pela falta de dados entre 1991/92 e 1993/94 (Figura 8.13).

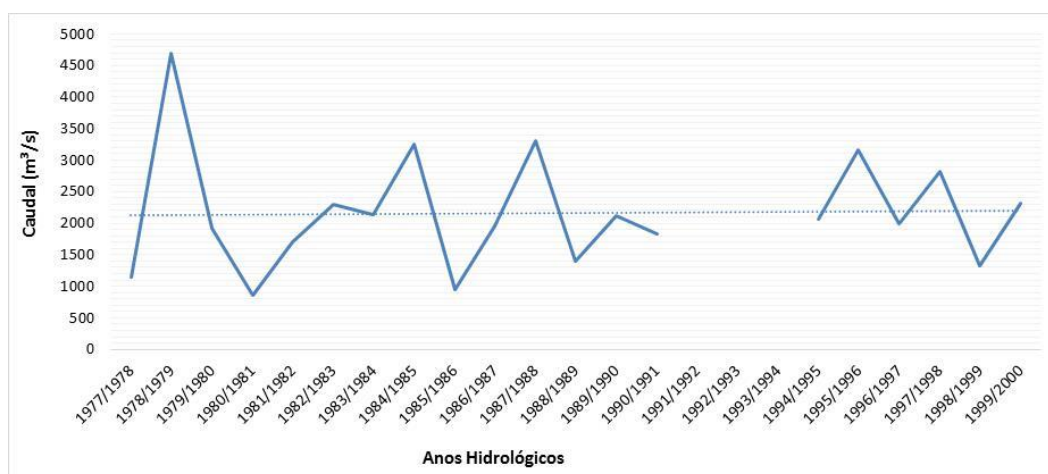


Figura 8.13. Caudais anuais e linha de tendência da estação de Ponte Junqueira.

O histograma de frequência dos anos com características secas, normais e húmidas da série apresenta-se alongado como expõe o coeficiente de achatamento ( $AG= 0,35$ ). Desta forma, verifica-se uma predominância dos anos moderadamente secos (7 anos). O número de anos de escassez é de 6 e o número de anos de abundância de escoamento é de 4 (Figura 8.14). Entre 1978/79 a 1999/00 ocorreram 4 períodos secos e 4 períodos húmidos. No entanto a duração dos períodos secos é maior (Figura 8.15).

A relação entre os caudais anuais medidos na estação de Ponte Junqueira e a precipitação anual na estação pluviométrica de Viatodos apresenta um coeficiente de determinação baixo ( $R^2=0,43$ ). Isto pode dever-se ao facto de estamos a comparar apenas 20 anos de dados. As estações encontram-se a uma distância de 16 km uma da outra e os caudais de Ponte

Junqueira, que se localiza muito próximo da foz, resultam da contribuição da precipitação do total da bacia hidrográfica (Figura 8.16).

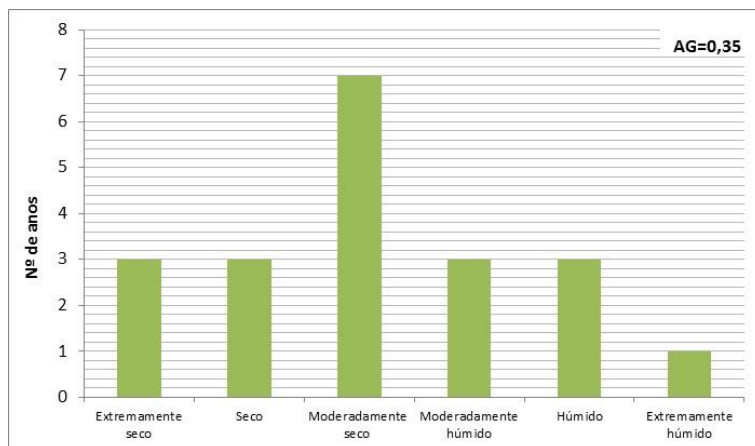


Figura 8.14. Histograma de frequência dos anos com características secas, normais e húmidas da série de Ponte Junqueira. AG – Coeficiente de Achatamento.

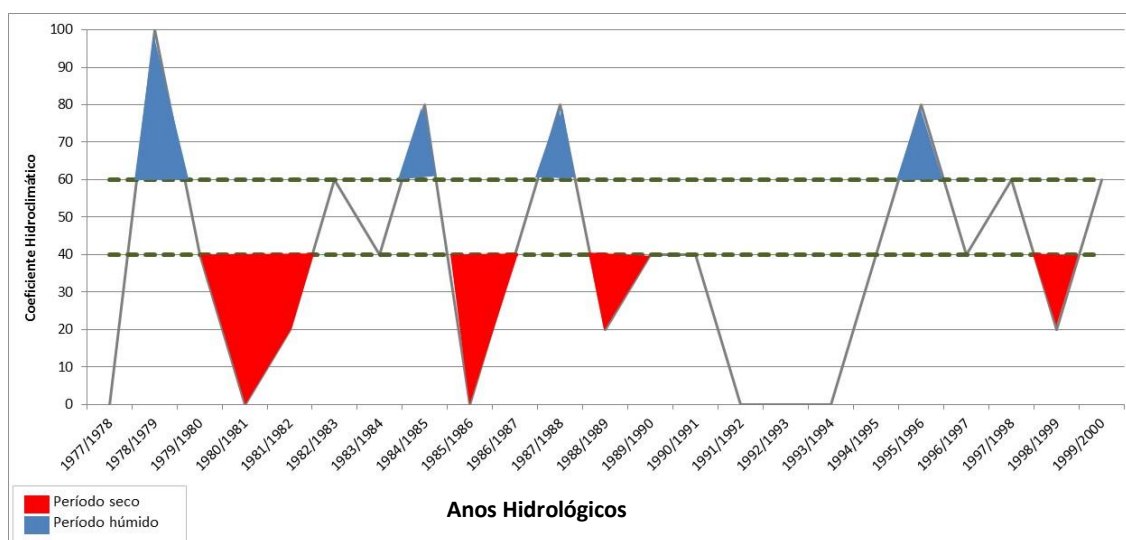


Figura 8.15. Coeficiente hidroclimático para a série de Ponte Junqueira.

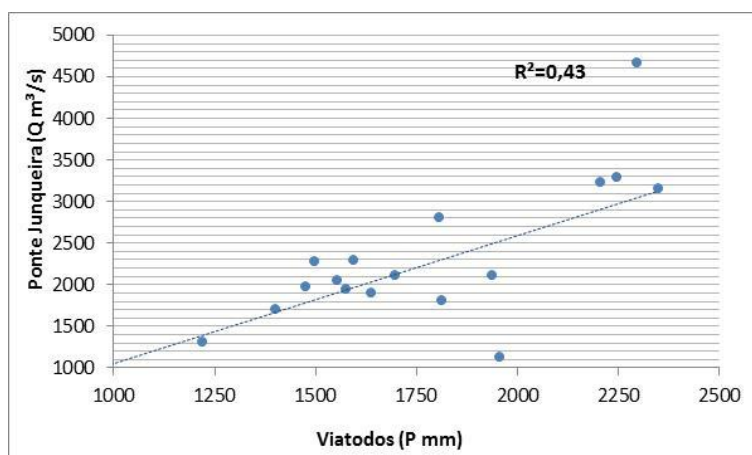


Figura 8.16. Relação da precipitação anual com o caudal anual na bacia do Este.

### 8.2.2. Caudais mensais

Os coeficientes mensais do caudal (cmc) atingem os valores mais elevados nos meses de fevereiro e janeiro (1,72 e 1,70 respetivamente). Os valores mais baixos ocorrem nos meses de agosto e setembro (0,11 e 0,17 respetivamente). O período de abundância de escoamento, com os  $cmc > 1$  tem a duração média de 5 meses, de dezembro a abril. Do lado oposto encontram-se os meses em estiagem, com  $cmc < 0,25$ , com uma duração de 3 meses, de julho a setembro. Os meses de outubro, novembro, maio e junho são considerados meses de transição (Figura 8.17 e Quadro 8.4).

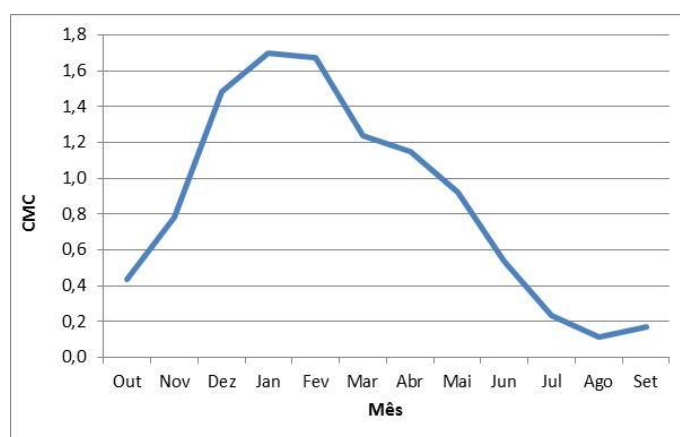


Figura 8.17. Coeficiente mensal do caudal da série de Ponte Junqueira.

Os meses com os registos de precipitação mensal mais elevados são dezembro, janeiro e novembro. Destes apenas dezembro e janeiro são meses de abundância de escoamento, uma vez que os valores do caudal não dependem unicamente da precipitação, e por isso mesmos nos meses em que os valores de precipitação mensal começam a diminuir, como é o caso de fevereiro, março e abril, estes continuarem a ser meses de abundância (Quadro 8.4).

Quadro 8.4. Meses de abundância e escassez de escoamento e precipitação média mensal de 1978 a 2000

Rio Este											
Meses	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ag
Meses de abundância e escassez de escoamento											
Precipitação Média Mensal	188,9	201,3	291,8	215,9	183,6	115,7	168,8	136,6	51,1	25,0	32,4

	Meses de Transição
	Meses de Abundância de Escoamento ( $cmc > 1$ )
	Meses de estiagem ( $cmc < 0,25$ )

Na Figura 8.18, encontra-se presente a variabilidade dos caudais mensais ao longo do período de análise. Assim o módulo em fevereiro é de 371 m<sup>3</sup>/s e nos anos em que se atinge o percentil 99, este valor ultrapassa os 1126 m<sup>3</sup>/s. Nos anos que atingem o percentil 95, este valor atinge 672 m<sup>3</sup>/s. O módulo mais baixo ocorre em agosto com 22 m<sup>3</sup>/s, enquanto este valor sobe para 59 m<sup>3</sup>/s no percentil 90 e para os 69 m<sup>3</sup>/s no percentil 99. Nos meses com o percentil 25, o valor mais elevado ocorre também em fevereiro com 207 m<sup>3</sup>/s e o valor mais baixo em agosto com 2,7 m<sup>3</sup>/s (Figura 8.18).

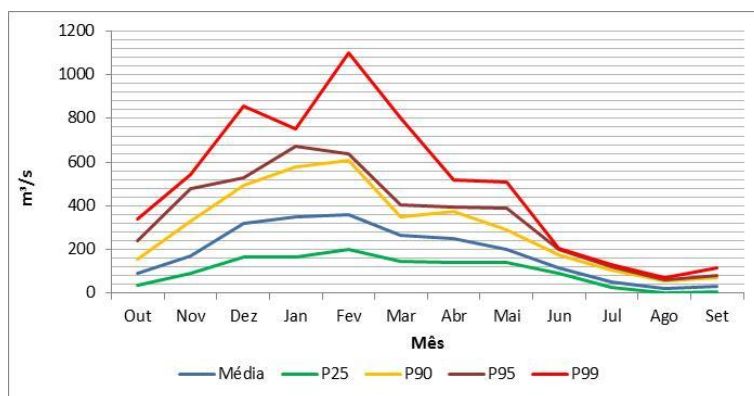


Figura 8.18. Módulo e percentis por meses do ano em Ponte Junqueira.

A variabilidade relativa das séries mensais dos caudais é confirmada pelos valores dos coeficientes de variação que são mais elevados nos meses de agosto, setembro e outubro, sendo superiores a 89%. Os valores mais baixos registam-se nos meses de junho, abril e maio (Figura 8.19).

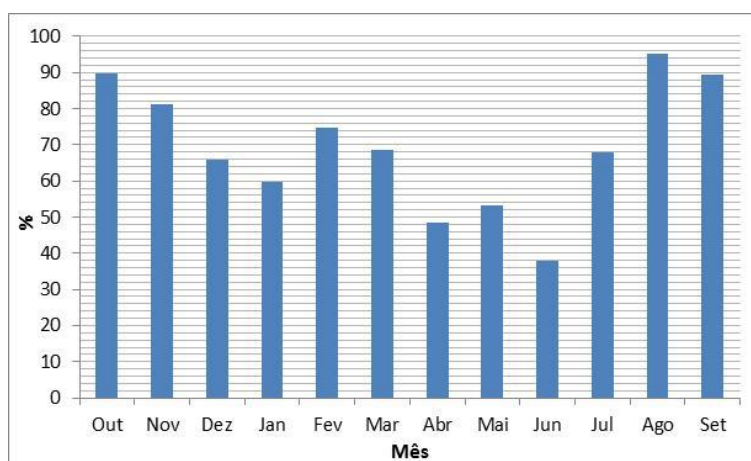


Figura 8.19. Coeficiente de variação mensal dos caudais em Ponte Junqueira.

O mês de agosto apresenta 85% dos meses com caudal de estiagem ( $cmc < 0,25$ ) enquanto nos meses de março, abril e maio não se registou nenhum mês com estiagem. Julho e setembro



também registam mais de 70% dos meses com caudal de estiagem. Mais de 5% dos meses de novembro, dezembro, janeiro e fevereiro apresentam caudal de estiagem (Figura 8.20).

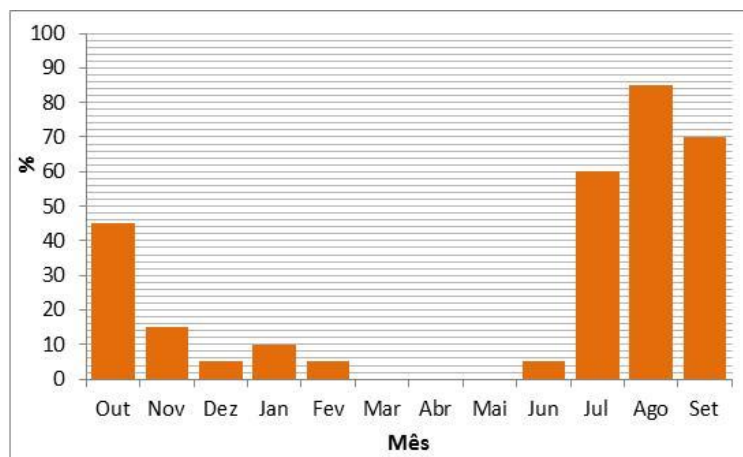


Figura 8.20. Meses com caudal de estiagem ( $cmc < 0,25$ ) em %, em Ponte Junqueira.

Apesar de agosto e setembro registarem a maioria dos meses com caudal de estiagem, apenas ocorreram 2 meses em agosto e 1 mês em setembro com caudal nulo ( $Q=0$ ).

### 8.2.3. Caudais diários e máximos anuais

O caudal médio diário na estação hidrométrica de Ponte Junqueira é de  $6 \text{ m}^3/\text{s}$ . A curva de duração dos caudais médios diários, presente na Figura 8.21, indica-nos que cerca de 100 dias por ano, em média têm um caudal inferior a  $2 \text{ m}^3/\text{s}$ . Do lado oposto, podemos verificar que cerca de 40 dias por ano tem um caudal médio diário superior a  $12 \text{ m}^3/\text{s}$  (Figura 8.21).

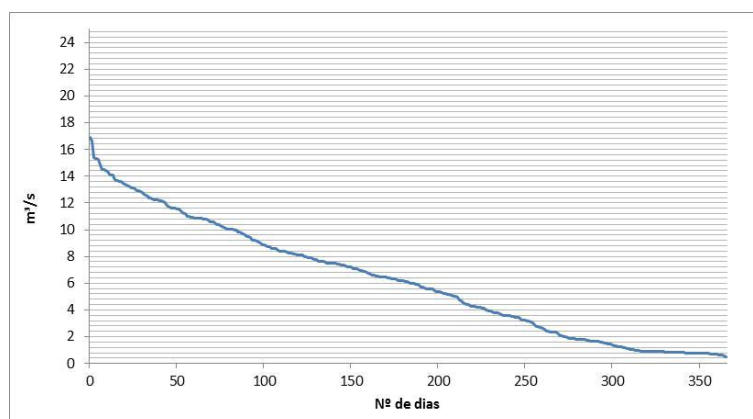


Figura 8.21. Curva de duração dos caudais médios diários em Ponte Junqueira.

O valor mais elevado de caudal diário foi de  $80,3 \text{ m}^3/\text{s}$  que ocorreu no dia 30 de Dezembro de 1978. A média, bastante mais inferior, situa-se nos  $36 \text{ m}^3/\text{s}$ . Os meses de dezembro, janeiro e fevereiro registaram 65% dos dias com caudais máximos anuais. De seguida, destacam-se os meses de março e abril com o registo de 2 dias em cada mês dos caudais máximos anuais (Figura 8.22).

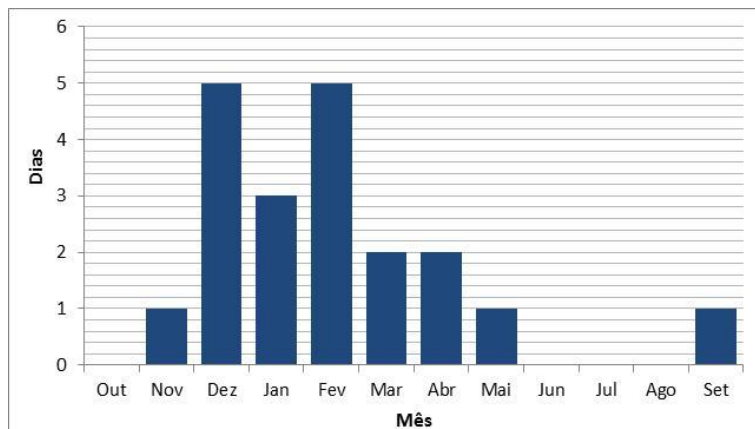


Figura 8.22. Número de dias de ocorrência dos máximos de caudal anual em Ponte Junqueira, por mês.

O coeficiente de flutuação de cheia (CFC) indica-nos que o caudal máximo anual ultrapassa em média 9 vezes o valor do caudal mediano. No ano hidrológico de 1981/82, este valor ultrapassou cerca de 36 vezes o valor do caudal mediano.

Os valores dos caudais máximos anuais para os diferentes períodos de retorno variam entre os  $33 \text{ m}^3/\text{s}$  para 2 anos e os  $125 \text{ m}^3/\text{s}$  para um período de retorno de 500 anos (Figura 8.23).

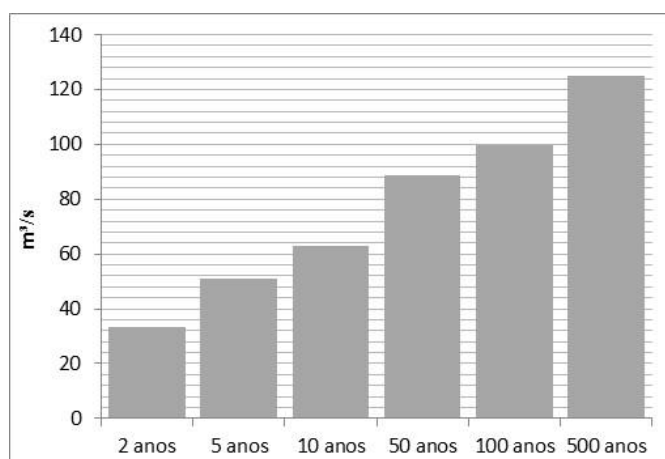


Figura 8.23. Caudais para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Este.

### 8.3. Bacia do rio Corgo

#### 8.3.1. Caudais anuais

A estação hidrométrica de Ermida localiza-se a 138 metros de altitude e a cerca de 7 km da foz do rio Corgo. Esta estação dispõe de 50 anos de dados diários de 1956/57 a 2005/06. Os resultados dos dados anuais mostram um módulo de 2991 m<sup>3</sup>/s, com o valor mais elevado de 6534 m<sup>3</sup>/s no ano hidrológico de 2000/01 e o valor mais baixo de 1001 m<sup>3</sup>/s no ano hidrológico de 2004/05. Do total das séries anuais, 30 anos assinalaram caudais anuais inferiores à média, o que é confirmado pelo módulo superior à mediana (2742 m<sup>3</sup>/s).

*Quadro 8.5. Dados estatísticos da estação de Ermida Corgo (1956/57 a 2005/06).*

Ermida Corgo (1956/57-2005/06)	
Altitude (m)	138
Ano mais húmido (QM) (m <sup>3</sup> /s)	6534,1
Ano mais seco (Qm) (m <sup>3</sup> /s)	1001,6
Módulo (m <sup>3</sup> /s)	2991,1
Mediana (m <sup>3</sup> /s)	2742,8
Desvio Padrão (m <sup>3</sup> /s)	1463,9
Coef. de variação (%)	48,9
Nº de Anos Inferior ao Módulo	30
Caudal Específico (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	6,4
Amplitude de variação	5532,5
Coefficiente de flutuação	6,5
Coef. Irregularidade Intrínseca (I)	0,5

A irregularidade do caudal é evidente no coeficiente de variação (48,9%), no coeficiente de flutuação (6,5) e no coeficiente de irregularidade intrínseca (0,5) (Quadro 8.5). Ao longo dos 50 anos da série anual constata-se uma grande variabilidade dos caudais, apresentando uma ligeira tendência de diminuição dos valores de caudais anuais. Podemos também observar alguns anos com caudais superiores a 6000 m<sup>3</sup>/s: 1965/66, 1978/79 e 2000/01. Os anos de 2004/05, 2001/02 e 1975/76 registam valores abaixo dos 1100 m<sup>3</sup>/s (Figura 8.24).

O coeficiente hidroclimático que define os anos de escassez ou de abundância de escoamento está representado na Figura 8.25. Assim, 20 anos foram classificados em escassez (anos secos ou extremamente secos) e 10 anos foram identificados como em abundância de escoamento (húmido e extremamente húmidos). Os restantes 20 anos foram classificados como normais (moderadamente secos e moderadamente húmidos) (Figura 8.26).

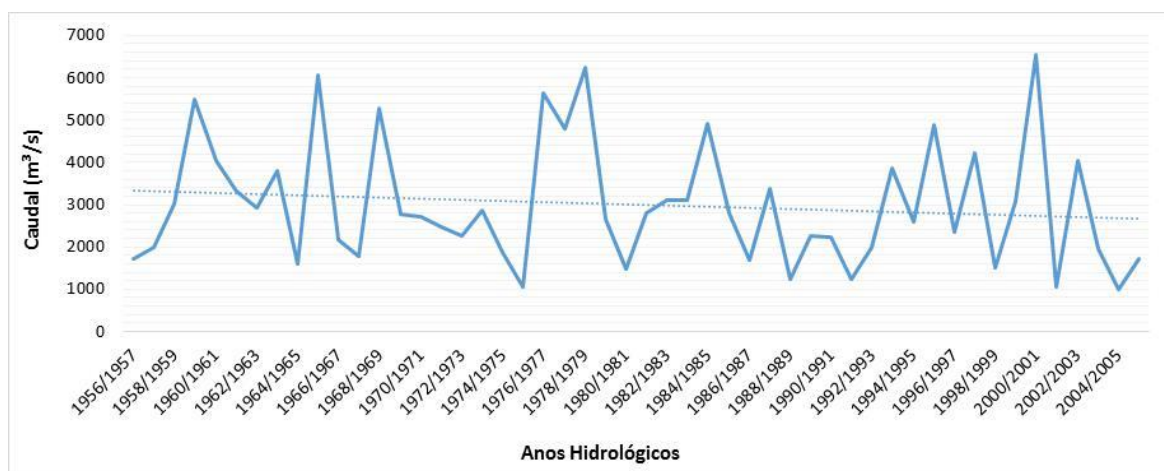


Figura 8.24. Caudais anuais e linha de tendência da estação de Ermida Corgo.

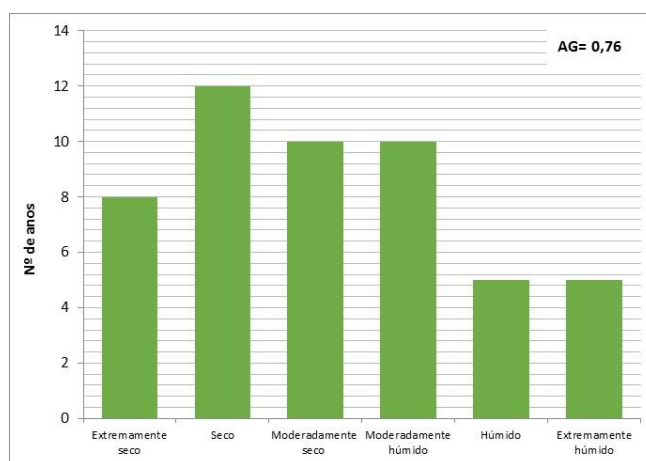


Figura 8.25. Histograma de frequência dos anos com características secas, normais e húmidas da série de Ermida Corgo. AG – Coeficiente de Achatamento.

O coeficiente de achatamento (AG) é de 0,76 indicando que o histograma é achatado. A distribuição do coeficiente hidroclimático ao longo dos anos mostra-nos que os períodos secos estão em maior número que os períodos húmidos, destacando-se pela dimensão o período seco entre 1988/89 a 1991/92 e o período húmido entre 1876/77 a 1979/81 (Figura 8.26).

O coeficiente de determinação entre as precipitações anuais e os caudais anuais é o mais elevado das bacias em estudo ( $R^2=0,79$ ). As estações localizam-se a uma distância de cerca de 20 km uma da outra e o período de dados é de 50 anos, o que contribuiu para o coeficiente de correlação mais elevado (Figura 8.27).

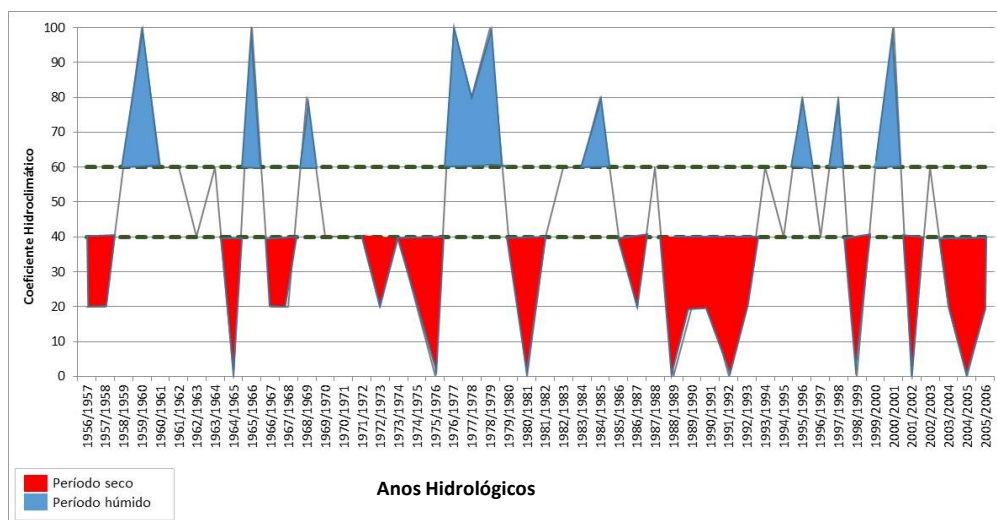


Figura 8.26. Coeficiente hidroclimático para a série de Ermida Corgo.

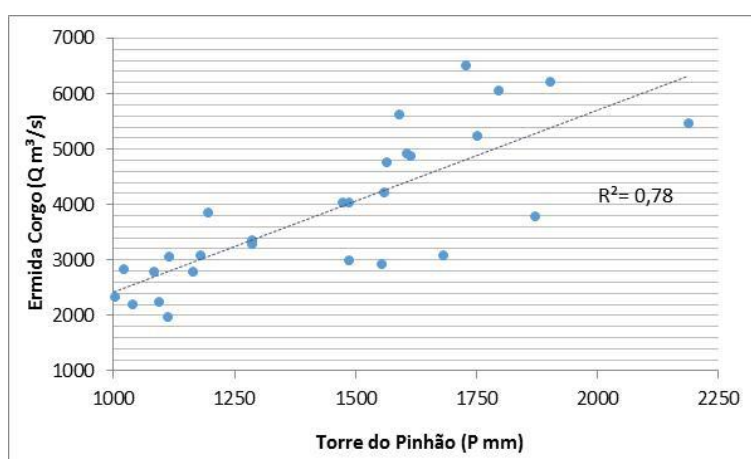


Figura 8.27. Relação da precipitação anual com o caudal anual na bacia do Corgo.

### 8.3.2. Caudais mensais

Ao longo do ano verificamos grandes diferenças nos valores do caudal mensal. O valor mais elevado do coeficiente mensal do caudal (cmc) ocorre no mês de janeiro. Em segundo e terceiro lugar aparecem os meses de fevereiro e dezembro, respetivamente. O período de abundância de escoamento, com os cmc superiores ao módulo anual ( $>1$ ), tem a duração média de 4 meses, ou seja, de dezembro a março (Figura 8.28 e Quadro 8.6).



Figura 8.28. Coeficiente mensal do caudal da série de Ermida Corgo.

Os cmc mais baixos ocorrem, como seria de esperar nos meses de agosto e setembro. A estes dois meses, acrescenta-se julho, nos meses classificados como de estiagem ( $cmc < 0,25$ ) (Figura 8.28 e Quadro 8.6). Os meses de abundância de dezembro, janeiro e fevereiro correspondem aos meses com valores mais elevados de precipitação mensal. Do lado oposto estão os meses de escassez, com os valores mais baixos de precipitação mensal (Quadro 8.6).

Quadro 8.6. Meses de abundância e escassez de escoamento e precipitação média mensal de 1956 a 06.

Rio Corgo												
Meses	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set
Meses de abundância e escassez de escoamento												
Precipitação Média Mensal	119,1	139,3	173,5	164,5	155,6	111,0	103,4	74,1	44,2	13,8	16,2	46,9

Meses de Transição

Meses de Abundância de Escoamento (cmc > 1)

Meses de estiagem (cmc < 0,25)

O módulo mais elevado regista-se no mês de janeiro com  $552 \text{ m}^3/\text{s}$ , enquanto o mais baixo ocorre em agosto, com  $7,8 \text{ m}^3/\text{s}$ . Se analisarmos os valores do percentil 25, podemos verificar que estes valores descem para  $143 \text{ m}^3/\text{s}$  (janeiro) e  $1,3 \text{ m}^3/\text{s}$  (agosto). Nos anos em que se ultrapassa o percentil 95 e o percentil 99, é em fevereiro que se assinalam os valores mais elevados, com  $1492 \text{ m}^3/\text{s}$  e  $1856 \text{ m}^3/\text{s}$ , respetivamente. Nos meses em que se ultrapassam os percentis 90, 95 e 99, agosto continua a ser o mês de maior escassez, no entanto com valores de caudal bem mais elevados ( $16, 17$  e  $38 \text{ m}^3/\text{s}$  respetivamente) (Figura 8.29).

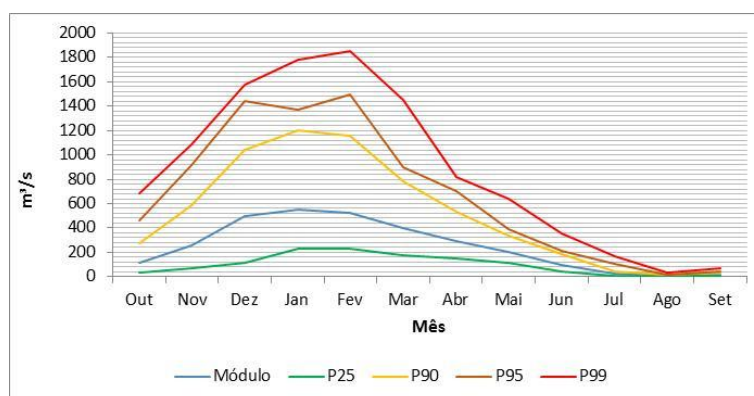


Figura 8.29. Módulo e percentis por meses do ano em Ermida Corgo.

As diferenças entre os meses são comprovadas pelos elevados valores dos coeficientes de variação mensal. Os meses com maiores irregularidades são os meses de outubro e julho. De seguida, surgem os meses com maior escassez, agosto e setembro. Os meses com os coeficientes de variação mais baixos são abril e maio (Figura 8.30).

No total dos 50 anos da série todos os meses de agosto apresentam caudal de estiagem (cmc < 0,25). Setembro e julho expõem quase a totalidade dos meses com estiagem (98 e 92% dos meses respetivamente).

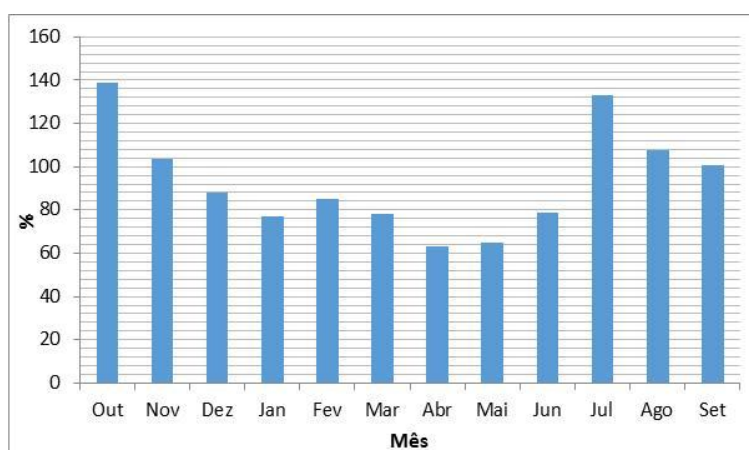


Figura 8.30. Coeficiente de variação mensal dos caudais em Ermida Corgo.

De seguida surge o mês de outubro com 52% dos meses com caudal de estiagem. Fevereiro não registou nenhum mês com caudal de estiagem e os meses de janeiro, março e abril assinalaram apenas 2% cada de meses em estiagem (Figura 8.31). Apenas se registou um mês em agosto com caudal igual a 0 (no ano hidrológico de 1964/65).



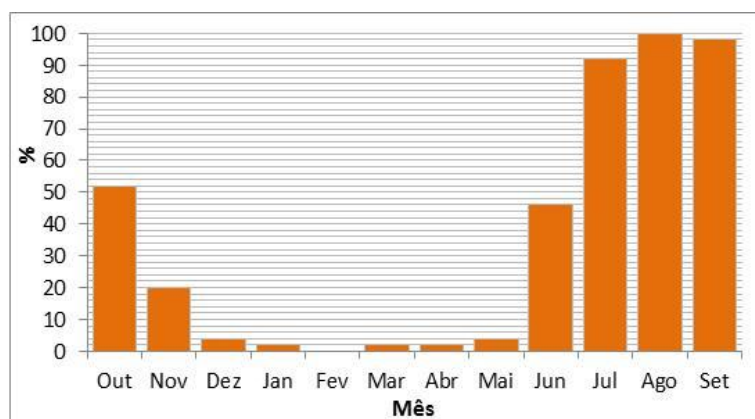


Figura 8.31. Meses com caudal de estiagem ( $cmc < 0,25$ ) em %, em Ermida.

### 8.3.3. Caudais diários e máximos anuais

Na Figura 8.32 está patente a curva de duração dos caudais médios diários. O caudal médio diário, na estação de Ermida é de  $8,2 \text{ m}^3/\text{s}$  e o valor mais elevado em média, ronda os  $23 \text{ m}^3/\text{s}$ . Em cerca de 80 dias por ano, o caudal é inferior a  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  e em cerca de 30 dias o caudal é superior a  $19 \text{ m}^3/\text{s}$  (Figura 8.32).

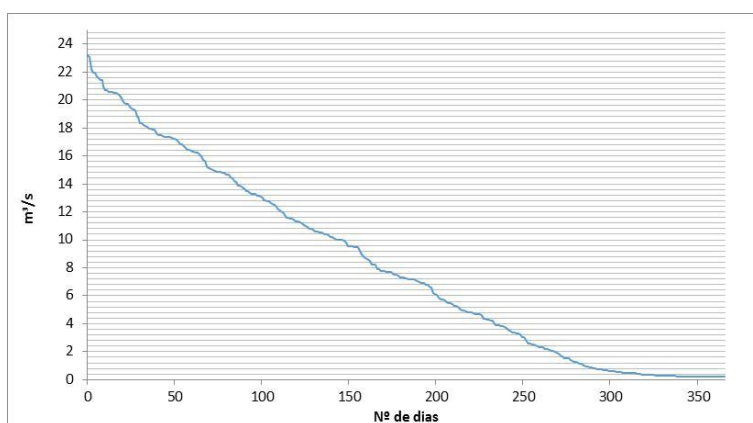


Figura 8.32. Curva de duração dos caudais médios diários em Ermida.

O valor de caudal máximo registado ocorreu a 25 de Dezembro de 1995, com o registo de  $289 \text{ m}^3/\text{s}$ . No total da série, a média do caudal máximo instantâneo anual foi de  $119 \text{ m}^3/\text{s}$ . Verifica-se que 58% dos dias com máximos anuais ocorrem nos meses de inverno, destacando-se o mês de fevereiro com 28%, ou seja, 14 dias com caudal máximo instantâneo. Os meses de março e novembro também sobressaem, com 16% e 14% dos dias com caudal máximo instantâneo. Os meses de julho, agosto e setembro não apresentam qualquer máximo anual (Figura 8.33).

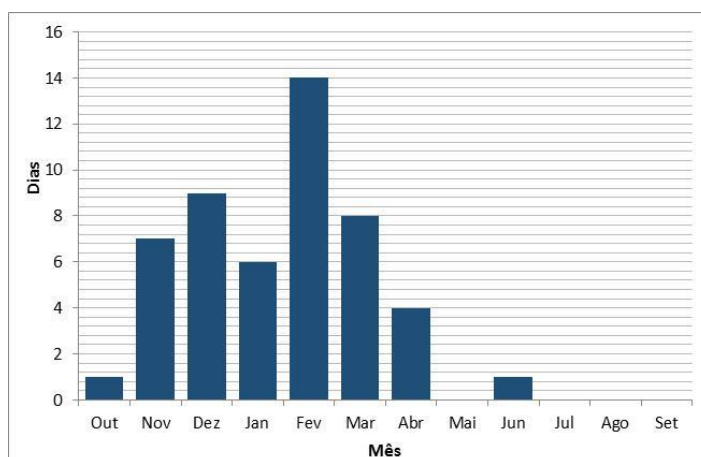


Figura 8.33. Número de dias de ocorrência dos máximos de caudal anual em Ermida, por mês.

O coeficiente de flutuação de cheia (CFc) indica-nos que o caudal máximo anual ultrapassa em média 38 vezes o valor do caudal mediano. No ano hidrológico de 1971/72 este valor ultrapassou o valor do caudal mediano em 195 vezes.

Na Figura 8.34 estão presentes os valores dos caudais máximos anuais para os diferentes períodos de retorno. Para dois anos, o período de retorno é de 111 m<sup>3</sup>/s e para um período de retorno de 500 anos o valor do caudal ultrapassa 380 m<sup>3</sup>/s (Figura 8.34).

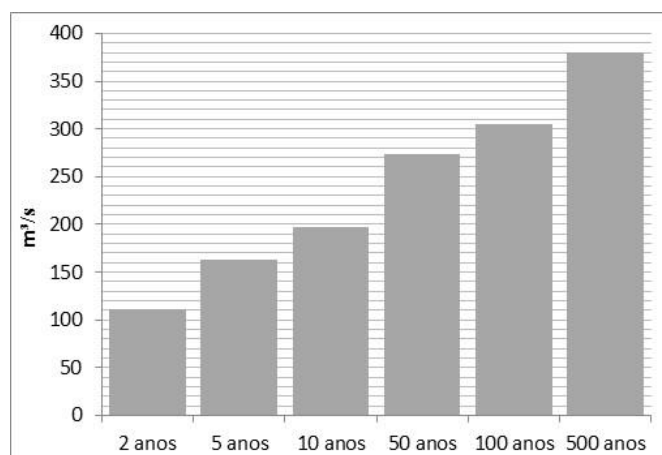


Figura 8.34. Caudais para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Corgo.

## 8.4. Bacia do rio Távora

### 8.4.1. Caudais anuais

Na bacia do rio Távora, a estação de Quinta Rape situa-se a cerca de 44 km da foz, enquanto a estação de Moinho da Ponte Nova situa-se a cerca de 22 km. Entre as duas estações hidrométricas encontra-se a barragem do Vilar, próxima da vila de Vilar em Moimenta da Beira e construída em 1965, que tem como utilização a produção de energia e a derivação. Possui uma altura de 58 m acima da fundação (55 m acima do terreno natural) e a capacidade instalada de produção de energia eléctrica é de 64 mw<sup>1</sup>. A estação de Moinho da Ponte Nova fica a cerca de 11 km a jusante da barragem e a estação de Quinta Rape fica a cerca de 3 km a montante da barragem. A localização das estações face à barragem do Vilar é importante para compreender as diferenças nos valores dos caudais das duas estações em análise, uma vez que a barragem interrompe o caudal natural do rio. Deste modo, os valores médios dos caudais anuais são bastante diferentes entre as duas estações: em Quinta Rape o caudal médio anual é de 1000 m<sup>3</sup>/s enquanto em Moinho da Ponte Nova, este valor desce para 362 m<sup>3</sup>/s, entre os anos hidrológicos de 1976/77 a 2005/06. A mediana nas duas estações é inferior ao módulo o que indica uma maior probabilidade de registar caudais anuais inferiores módulo. Assim, Quinta Rape assinalou 17 anos com caudais inferiores ao módulo e Moinho da Ponte Nova registou 22 anos. A irregularidade anual do caudal é bem notória nos coeficientes de variação, nos coeficientes de flutuação e nos coeficientes de irregularidade intrínseca. O caudal mais elevado da série de Quinta Rape registou-se no ano hidrológico de 1978/1979, com 2336 m<sup>3</sup>/s, enquanto o caudal mais baixo registou-se em 1991/92 com 141 m<sup>3</sup>/s (Quadro 8.7). Em Moinho da Ponte Nova, o valor mais elevado, de 1846 m<sup>3</sup>/s assinalou-se no ano hidrológico de 2000/01 e o valor mais baixo, de 31 m<sup>3</sup>/s ocorreu no ano hidrológico de 1980/81 (Quadro 8.7).

Os caudais caracterizam-se pela irregularidade anual. Assim, na Figura 8.35, podemos confirmar as diferenças entre a estação de Quinta Rape localizada a montante da barragem do Vilar e a estação de Moinho da Ponte Nova localizada a jusante da barragem. Apesar dos valores serem bastante díspares, a configuração anual é muito idêntica. Deste modo, destacam-se os anos hidrológicos de 1978/79 e 2000/01 com os valores mais elevados e os anos hidrológicos de 2001/02 e 1980/01.

A estação de Quinta Rape apresenta uma tendência de diminuição dos valores dos caudais anuais muito mais acentuada do que a estação de Moinho da Ponte Nova (Figura 8.35). A estação apresenta 14 anos com escassez de escoamento e 7 anos com abundância de escoamento, enquanto Moinho da Ponte Nova regista 19 anos em escassez e 3 em abundância de escoamento. Os anos considerados normais com base no coeficiente hidroclimático são

---

<sup>1</sup> [http://cnpgb.apambiente.pt/gr\\_barragens/gbportugal/FICHAS/Vilarficha.htm](http://cnpgb.apambiente.pt/gr_barragens/gbportugal/FICHAS/Vilarficha.htm), consultado a 28-05-2015.

idênticos em ambas as estações, ou seja, em Quinta Rape são 9 e em Moinho da Ponte Nova são 8 anos. O coeficiente de achatamento (AG) é de 0,52 em Quinta Rape e de 0,62 em Moinho da Ponte Nova, mostrando uma grande dispersão de anos pelas várias classes (Figura 8.36).

Quadro 8.7. Dados estatísticos das estações de Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova (1960/61 a 1989/1990).

1976/77-2005/06	Quinta Rape	Moinho da Ponte Nova
Altitude (m)	577	452
Ano mais húmido (QM) (m <sup>3</sup> /s)	2336	1846
Ano mais seco (Qm) (m <sup>3</sup> /s)	141	31
Módulo (m <sup>3</sup> /s)	1000	362
Mediana (m <sup>3</sup> /s)	862	173
Desvio Padrão (m <sup>3</sup> /s)	650	466
Coef. de variação (%)	65	129
Nº de Anos Inferior ao Módulo	17	22
Caudal Específico (m <sup>3</sup> /s/km <sup>2</sup> )	1.9	0.7
Amplitude de variação	2195	1815
Coeficiente de flutuação	17	60
Coef. Irregularidade Intrínseca (I)	0.7	0.8

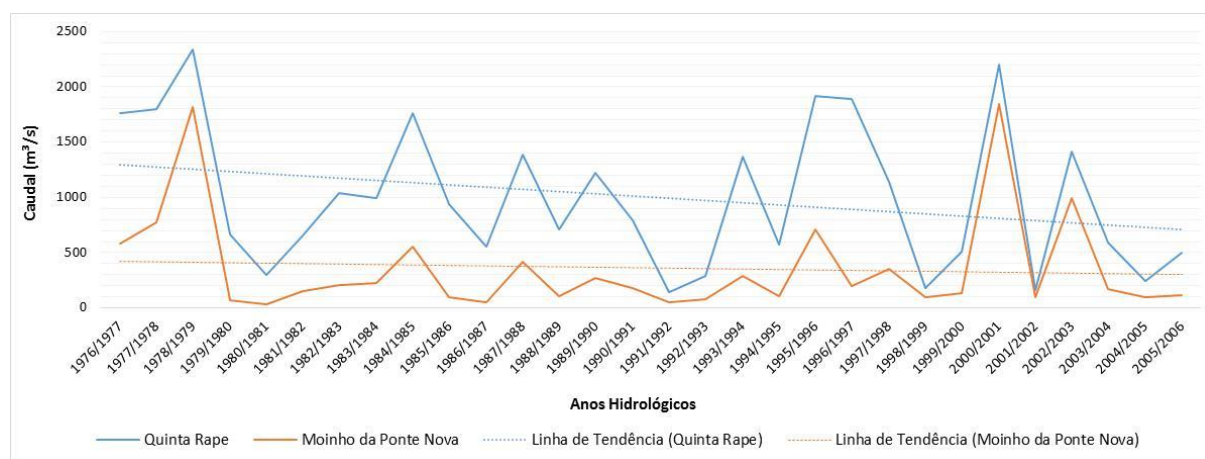


Figura 8.35. Caudais anuais e linhas de tendências das estações de Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova.

Os períodos secos estão em maior número, só se constatando 5 períodos húmidos, de curta duração, no total dos 30 anos das séries (Figura 8.37).

A relação entre os caudais anuais na estação hidrométrica Quinta Rape com a precipitação anual da estação pluviométrica de Aguiar da Beira que se situa a cerca de 8 km de Quinta Rape apresenta um coeficiente de determinação de 0,69 (Figura 8.38).

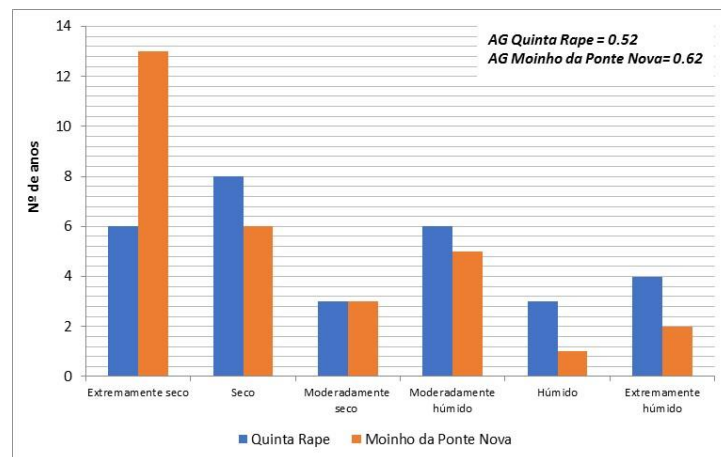


Figura 8.36. Histograma de frequência dos anos com características secas, normais e húmidas das séries de Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova. AG – Coeficiente de Achatamento.

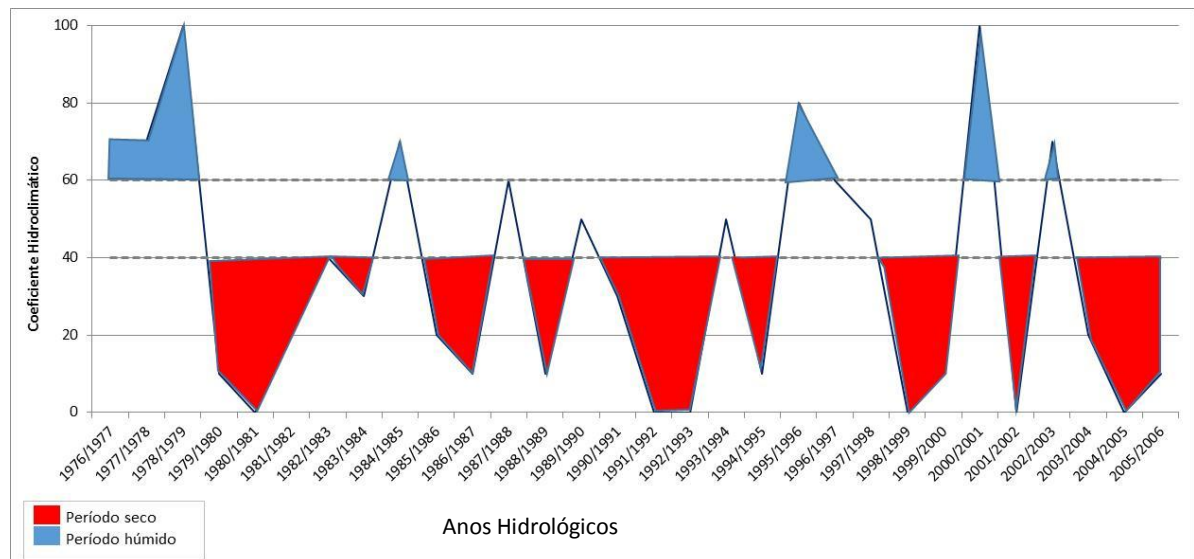


Figura 8.37. Cruzamento dos coeficientes hidroclimáticos das séries de Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova.

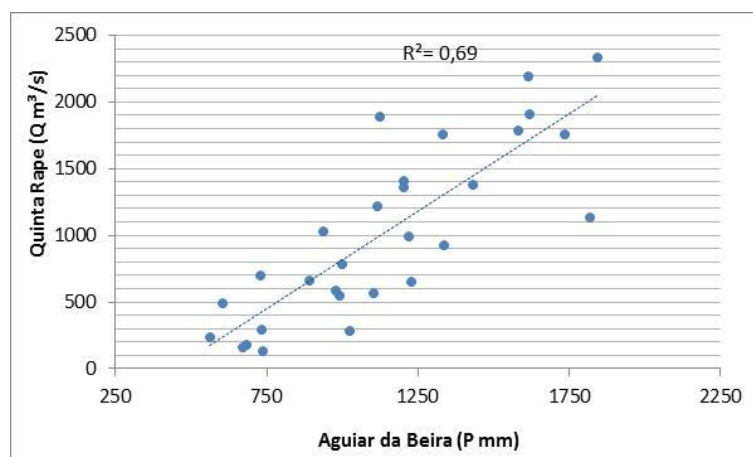


Figura 8.38. Relação da precipitação anual com o caudal anual na bacia do Távora.

### 8.4.2. Caudais mensais

Na Figura 8.39 está patente a distribuição dos coeficientes mensais dos caudais das duas estações em análise. Assim, em Quinta Rape o coeficiente mensal do caudal (cmc) mais elevado regista-se em janeiro, enquanto em Moinho da Ponte Nova é em fevereiro. Os valores mais baixos de cmc ocorrem em agosto e setembro em ambas as estações. O período de abundância de escoamento, ou seja, com os cmc superiores ao módulo anual ( $>1$ ) tem a duração média de 4 meses, de dezembro a março em Quinta Rape e de 3 meses, de janeiro a março, em Moinho da Ponte Nova. A estiagem ( $\text{cmc} < 0,25$ ), em Quinta Rape inicia-se em junho e termina em setembro (4 meses) enquanto em Moinho da Ponte Nova começa em junho e termina em outubro (5 meses) (Figura 8.41 e Quadro 8.8).

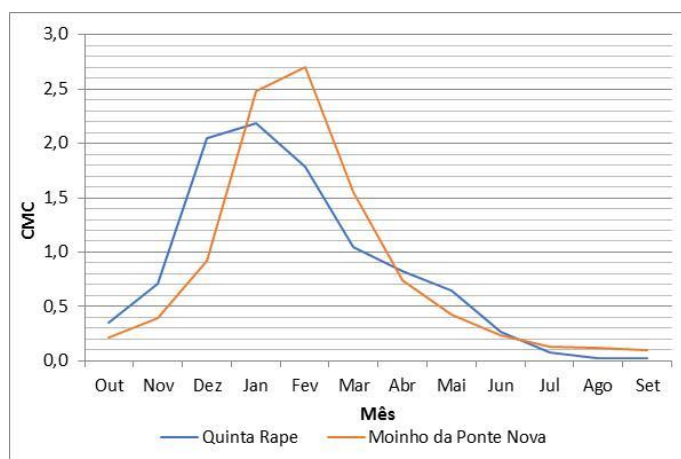


Figura 8.39. Coeficientes mensais dos caudais das séries de Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova.

Quadro 8.8. Meses de abundância e escassez de escoamento e precipitação média mensal em Aguiar da Beira (1976/77-2005/06).

Quinta Rape											
Meses	Out	Nov	Dez	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Set
Meses de abundância e escassez de											
Moinho da Ponte Nova											
Meses de abundância e escassez de											
Precipitação Média Mensal	119,7	146,2	211,0	155,6	143,9	74,3	103,2	93,0	44,7	13,0	21,3

Meses de Transição  
 Meses de Abundância de Escoamento ( $\text{cmc} > 1$ )  
 Meses de estiagem ( $\text{cmc} < 0,25$ )

Os meses com os registos de precipitação mensal mais elevados são dezembro, janeiro e novembro. Destes, apenas dezembro e janeiro são meses de abundância de escoamento em

Quinta Rape. Em Moinho da Ponte Nova, os caudais estão dependentes da barragem e por isso Dezembro ainda é um mês de transição (Quadro 8.8).

Os valores mensais do caudal são bastante variáveis de ano para ano. Na estação de Quinta Rape o módulo em janeiro é de 219 m<sup>3</sup>/s, enquanto nos meses em que se ultrapassa o percentil 99, este valor sobe para 879 m<sup>3</sup>/s. Os valores dos percentis 90 e 95 são de 583 m<sup>3</sup>/s e 716 m<sup>3</sup>/s, respetivamente. Em setembro assinalam-se os valores mais baixos, ou seja, o módulo é de 2,2 m<sup>3</sup>/s e o percentil 99 é de 15,6 m<sup>3</sup>/s. Do lado oposto, estão os meses com o percentil 25. O valor mais elevado ocorre em fevereiro com 55,3 m<sup>3</sup>/s e o mais baixo em agosto, com 0,3 m<sup>3</sup>/s. Em Moinho da Ponte Nova os valores do módulo e dos percentis são relativamente mais baixos do que na estação de Quinta Rape relativamente aos meses com abundância de escoamento.

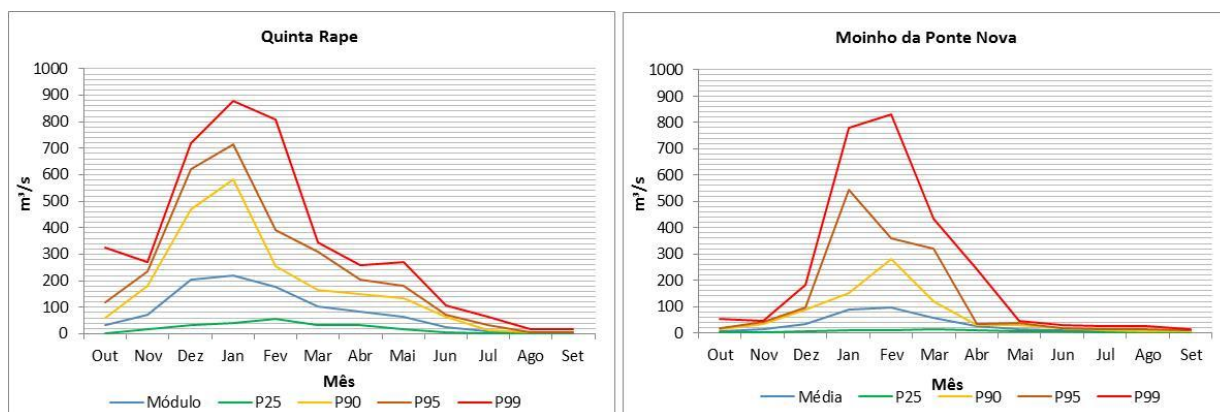


Figura 8.40. Módulo e percentis por meses do ano nas estações de Quinta Rape ou Moinho da Ponte Nova.

Assim, o módulo mais elevado regista-se em fevereiro com 98 m<sup>3</sup>/s. Os percentis 90 e 99 atingem valores de 280 e 830 m<sup>3</sup>/s, respetivamente. Nos meses com escassez, os valores do módulo e dos percentis são relativamente mais elevados do que na estação de Quinta Rape. Em setembro, o módulo é de 3,6 m<sup>3</sup>/s e o percentil 99 é de 13,1 m<sup>3</sup>/s (Figura 8.40).

A irregularidade verificada na figura anterior é confirmada pelos valores dos coeficientes de variação mensais. Deste modo, em Quinta Rape, os valores mais elevados ocorrem em outubro e agosto, enquanto em Moinho da Ponte Nova são os meses de janeiro e abril que se destacam. A menor irregularidade acontece em março e abril em Quinta Rape e em maio e junho em Moinho da Ponte Nova (Figura 8.41).

Na estação de Quinta Rape todos os meses da série de agosto e setembro registaram caudal de estiagem (cmc <0,25). Pelo contrário, os meses de janeiro e fevereiro não assinalaram nenhum mês com caudal de estiagem. Em Moinho da Ponte Nova, a percentagem dos meses



com estiagem, é de 67% para os meses de agosto e setembro, ou seja, 20 dos 30 anos da série estão classificados com estiagem. Janeiro e fevereiro, nesta estação, registaram apenas um mês com estiagem (Figura 8.42).

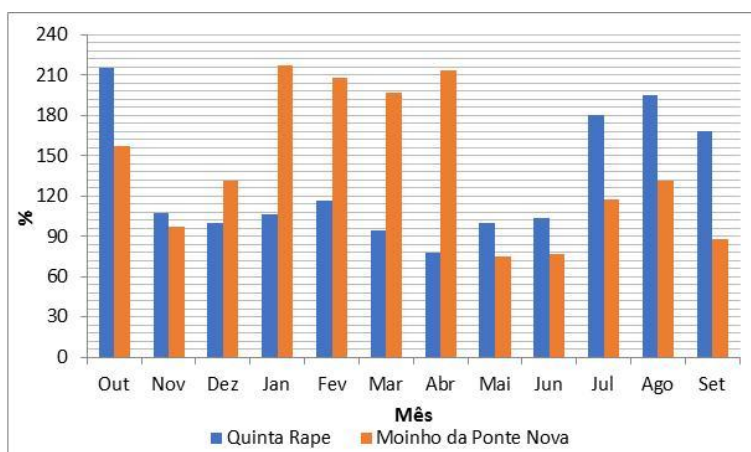


Figura 8.41. Coeficiente de variação mensal dos caudais na bacia do Távora.

No total da série, apenas ocorreram dois meses sem caudal ( $Q=0$ ) na estação de Quinta Rape, em agosto, enquanto, na estação de Moinho da Ponte Nova, ocorrem oito meses com caudal nulo. Assim, em outubro sucederam 3 meses, em agosto e setembro, 2 meses cada e em novembro, registou-se 1 mês sem caudal.

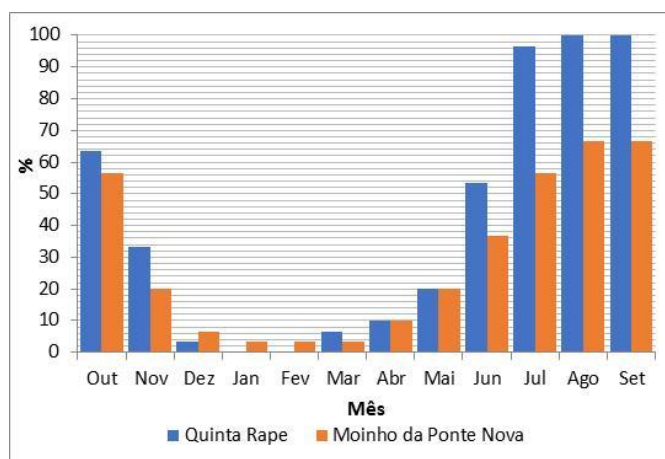


Figura 8.42. Meses com caudal de estiagem ( $cmc < 0,25$ ) em %, na bacia do Távora.

#### 8.4.3. Caudais diários e máximos anuais

A curva de duração dos caudais médios diários indica-nos que o caudal médio diário em Quinta Rape é de  $2,7 \text{ m}^3/\text{s}$  e em Moinho da Ponte Nova é de  $0,99 \text{ m}^3/\text{s}$ . Na Figura 8.43 é possível observar também que cerca de 127 dias por ano, em média, apresentam um caudal diário inferior a  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  e cerca de 20 dias por ano expõem um caudal médio diário superior a  $8 \text{ m}^3/\text{s}$  em Quinta Rape. Em Moinho da Ponte Nova, cerca de 268 dias por ano exibem um caudal inferior a  $1 \text{ m}^3/\text{s}$  e cerca de 20 dias por ano patenteiam um caudal médio diário superior a  $4 \text{ m}^3/\text{s}$  (Figura 8.43).

Em Quinta Rape, a média do caudal máximo instantâneo anual é de  $48 \text{ m}^3/\text{s}$ . O valor mais elevado ocorreu no dia 21 de Dezembro de 1989 com  $133 \text{ m}^3/\text{s}$ . Verifica-se que 67 % dos dias com máximos anuais ocorrem nos meses de inverno. Dezembro registou 8 dias, fevereiro, 7 dias e janeiro assinalou 5 dias.

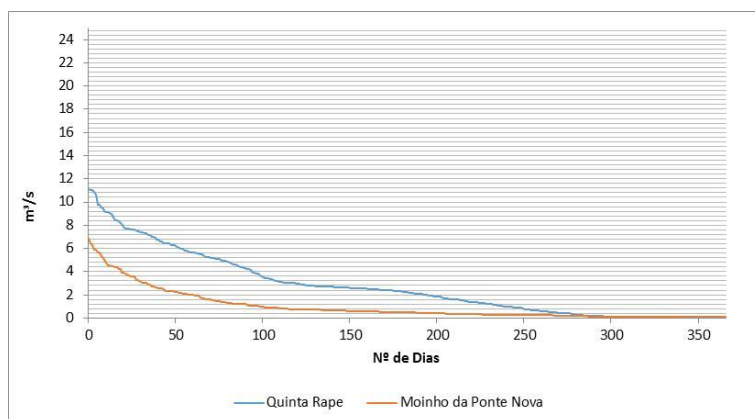


Figura 8.43. Curva de duração dos caudais médios diários na bacia do Távora.

De seguida, destacam-se os meses de março e abril com o registo de 4 e 3 dias, respetivamente. Os meses de verão e setembro não exibem qualquer máximo anual (Figura 8.44). Em Moinho da Ponte Nova, a média do caudal máximo instantâneo anual é de  $26 \text{ m}^3/\text{s}$ . O valor mais elevado ocorreu no dia 10 de fevereiro de 1979, com  $157 \text{ m}^3/\text{s}$ . Os meses de inverno registam 63% dos dias com caudal máximo anual. Fevereiro regista 10 dias, janeiro e dezembro assinalam 5 e 4 dias respetivamente. Março e maio também sobressaem com o registo de 4 dias com caudal máximo anual, em cada mês. Os meses de junho, julho e setembro não exibem qualquer máximo anual. Em agosto ocorreu um máximo anual no dia 10 de agosto de 1983 (Figura 8.44).

O coeficiente de flutuação de cheia (CFC) mostra-nos que o caudal máximo anual ultrapassa em média 70 vezes o valor do caudal mediano nas duas estações. Em Quinta Rape, o destaque vai para o ano hidrológico de 1989/90, cujo valor atingiu cerca de 443 vezes o valor do caudal mediano. Em Moinho da Ponte Nova foi no ano de 1978/79, que se atingiu o coeficiente de

flutuação de cheia mais elevado, ou seja, o caudal máximo anual ultrapassou 462 vezes o valor do caudal mediano.

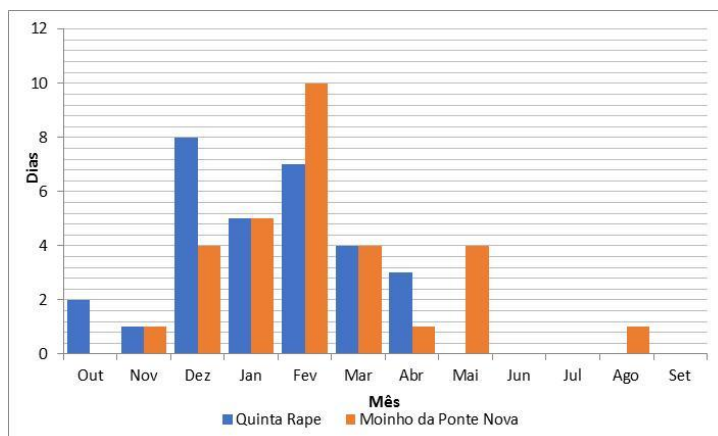


Figura 8.44. Número de dias de ocorrência dos máximos de caudal anual na bacia do Távora, por mês.

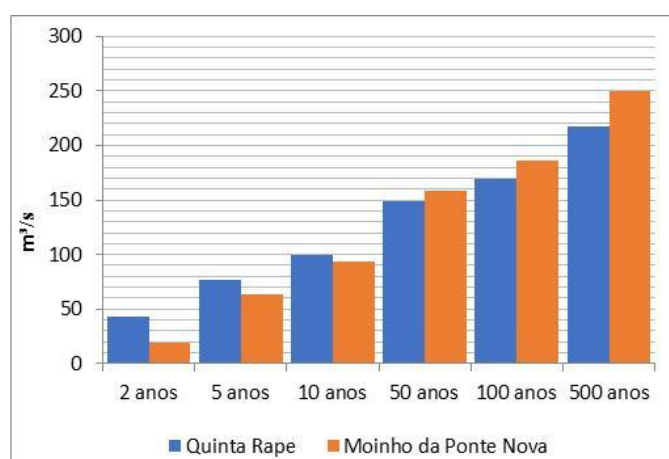


Figura 8.45. Caudais para diferentes períodos de retorno na bacia do rio Távora.

Os valores dos caudais máximos anuais para os diferentes períodos de retorno são mais elevados em Quinta Rape para os períodos de retorno até 10 anos. A partir daqui, os valores mais elevados registam-se em Moinho da Ponte Nova (Figura 8.45).

Assim, em Quinta Rape, os valores do caudal máximo anual vão desde os 43 m³/s para um período de retorno de 2 anos até aos 218 m³/s para um período de retorno de 500 anos. Em Moinho da Ponte Nova, estes valores variam entre os 19 m³/s para um período de retorno de 2 anos e os 248 m³/s para um período de retorno de 500 anos (Figura 8.45).

### 8.5. Relação dos caudais com a precipitação

Os caudais dos rios estão à partida dependentes dos quantitativos de precipitação que caem na bacia hidrográfica. Para a comparação entre os caudais e a precipitação utilizaram-se medidas de tendência central, dispersão e assimetria para as estações hidrométricas e meteorológicas com o mesmo período temporal que depende de bacia para bacia.

Os coeficientes de assimetria são superiores em todas as bacias nas estações pluviométricas do que nas estações hidrométricas. Assim os caudais apresentam séries muito mais assimétricas, do que as séries de precipitação.

*Quadro 8.9. Comparação de alguns dados estatísticos entre as estações hidrométricas e as estações meteorológicas nas bacias em estudo.*

Estações	Período Temporal	Unidade	Máximo	Mínimo	Módulo / Média	Desvio Padrão	Coef. de variação (%)	Coef. de flutuação	Coef. de assimetria
Bacia do Rio Vez									
Pontilhão de Celeiros	1960/61-	m³/s	9393,0	1493,8	4158,8	2026,9	48,7	6,3	4,2
Casal Soeiro	1989/90	mm	3085,4	1136,1	1963,7	524,7	26,7	2,7	14,0
Bacia do Rio Este									
Ponte Junqueira	1977/78-	m³/s	4683	853,6	2159,3	926,5	42,9	5,5	5,4
Viatodos	1999/00	mm	2347,4	920,8	1717,2	396,2	23,1	2,5	18,8
Bacia do Rio Corgo									
Ermida (Corgo)	1956/57-	m³/s	6534,1	1001,6	2991,1	1463,9	48,9	6,5	4,2
Torre do Pinhão	2005/06	mm	2186,8	344,6	1161,7	402,8	34,7	6,3	8,3
Bacia do Rio Távora									
Quinta Rape	1976/77- 1999-00	m³/s	2335,7	140,8	1000,5	650,3	65,0	16,6	2,4
Moinho Ponte Nova		m³/s	1846,2	30,8	362,1	466,0	128,7	60,0	0,6
Aguiar da Beira		mm	1840,4	677,1	1186,8	350,5	29,5	2,7	11,5

Os coeficientes de variação e de flutuação são inferiores nas séries de precipitação do que nas séries de caudais em todas as estações. Os coeficientes de variação situam-se entre os 23% em Viatodos e 35% em Torre do Pinhão. Os coeficientes de flutuação apresentam o mesmo resultado, ou seja, em Viatodos é de 2,5 e em Torre do Pinhão é de 6,3. Os maiores valores de irregularidade fluvial ocorrem na bacia do Távora e os menores valores registam-se na bacia do Este. Deste modo, os caudais apresentam uma maior variabilidade do que os dados de precipitação. Este resultado deve-se ao facto dos caudais estarem dependentes de outros fatores para além da precipitação. A dependência dos caudais em relação à precipitação varia de bacia para bacia dependendo das suas características geomorfológicas. Ramos (1994) refere que as montanhas do NW funcionam como reservatórios de água pois impedem que mesmo em períodos de seca mais prolongados os rios deixem de ter caudal. O substrato destas montanhas, constituído por granitos muito alterados permite a infiltração da água, ao

contrário do que se verifica nas áreas de xisto, que têm reservas subterrâneas de água muito mais frágeis.

## 8.6. Conclusão

Os resultados apresentados para as bacias em estudo são bastante diferentes, quer devido às características das bacias serem desiguais, quer devido ao período temporal de dados ser também dissemelhante de bacia para bacia. As estações hidrométricas em estudo apresentam um ponto comum, referente aos coeficientes de variação que são elevados, refletindo a muito forte variabilidade da precipitação no Norte de Portugal.

Deste modo, os dados referentes à bacia do Vez estão limitados ao período temporal de 1960/61 a 1989/90. O caudal médio do rio Vez em Pontilhão de Celeiros é o mais elevado das estações em estudo, resultado dos valores de precipitação serem também os mais elevados das bacias em estudo e de Portugal Continental. Os meses com abundância de escoamento vão desde dezembro a abril enquanto os meses de escassez vão desde julho a setembro. A escassez por vezes caracteriza-se pelo caudal nulo, nomeadamente no mês de agosto. O caudal médio diário e a média do caudal instantâneo máximo anual são dos mais elevados das bacias em estudo e por isso os caudais para os diferentes períodos de retorno são também mais elevados. Os máximos anuais ocorrem maioritariamente nos meses de inverno.

Para a bacia do Este analisamos a estação de Ponte Junqueira, com dados entre 1977/78 a 1999/00. Os resultados estão muito condicionados ao curto espaço temporal dos dados diários (20 anos). Assim, o caudal médio anual é o terceiro mais elevado, das quatro bacias em estudo. Os meses de abundância e escassez são os mesmos que no rio Vez, no entanto os meses com caudal nulo ocorrem em menor número. O caudal médio diário é metade do verificado no rio Vez e os máximos instantâneos anuais também são bastante inferiores, ocorrendo maioritariamente no inverno.

A estação hidrométrica de Ermida, no rio Corgo, dispõe da série mais longa de dados diários, entre 1956/57 a 2005/06. Os resultados dos dados anuais mostram que o módulo anual é inferior ao da bacia do Vez, mas superior aos das bacias do Este e Corgo. O período de abundância de escoamento tem a duração média de 4 meses de dezembro a março e o período de escassez tem a duração média de julho a setembro. Apesar de todos os meses de agosto apresentarem caudal de estiagem, apenas se verificou um mês com um caudal nulo. Os máximos instantâneos anuais seguem o mesmo padrão que o caudal anual, ou seja, os valores

são mais baixos do que na bacia do rio Vez, mas mais elevados do que nas bacias do Este e Távora. Na bacia do Corgo os máximos instantâneos anuais ocorrem também maioritariamente no inverno, sobressaindo o mês de fevereiro.

Na bacia do Távora foram analisadas duas estações: Quinta Rape localizada a montante da barragem do Vilar e Moinho da Ponte Nova, localizada a jusante da barragem com dados diários entre 1976/77 a 2005/06. Os resultados nesta bacia estão condicionados pela barragem que altera o caudal natural do rio e por isso, os caudais em Moinho da Ponte Nova são bastante inferiores aos verificados em Quinta Rape. O caudal médio anual em Quinta Rape é o mais baixo das bacias em estudo. Os meses de abundancia e de escassez de escoamento em Quinta Rape são os mesmos da bacia do Corgo, enquanto em Moinho da Ponte Nova os meses de abundância são em média janeiro, fevereiro e março e os meses de escassez de escoamento são em média de junho a julho. Na estação de Quinta Rape todos os meses da série de agosto e setembro registaram caudal de estiagem e na estação de Moinho da Ponte Nova, como o caudal é controlado pela barragem, apenas 20 dos 30 anos da série registaram estiagem nestes meses. Os caudais máximos instantâneos são dos mais baixos das quatro bacias, ocorrendo maioritariamente também no inverno.

Relativamente ao coeficiente de flutuação de cheia (CFc) que permite avaliar a amplitude dos caudais de cheia máxima em relação ao caudal semipermanente estimando a transfiguração dos cursos de água em episódios extremos, verificamos que é na bacia do Távora ( $CFc=70$ ) e bacia do Vez ( $CFc=60$ ) que este valor médio é mais elevado. Bem mais reduzidos são os CFc na bacia do Corgo ( $CFc=38$ ) e na bacia do Este ( $CFc=9$ ).

Os caudais de cheias para os diferentes períodos de retorno são também variáveis de bacia para bacia. Assim os valores mais elevados ocorrem no rio Vez, seguido do rio Corgo e rio Távora. Os caudais para os diferentes períodos de retorno são inferiores no rio Este.

A comparação entre os coeficientes de dispersão e assimetria dos valores de precipitação anual com os caudais anuais demonstrou que os caudais apresentam uma maior variabilidade do que os valores de precipitação. Esta variabilidade depende das condições geomorfológicas de cada bacia e não apenas da precipitação. A maior variabilidade dos caudais em relação à precipitação ocorre na bacia do Távora e a menor na bacia do Este. Estes resultados podem estar relacionados com as reservas subterrâneas de água de cada bacia que fazem com que mesmo num período seco, os rios continuem ou não a ter caudal.

Os valores dos caudais nas bacias em estudo refletem deste modo, o padrão da precipitação (como verificado nos capítulos 6 e 7) e as características fisiográficas de cada bacia (capítulo 3).

## Parte III – As precipitações desencadeantes de cheias

### Capítulo 9. Caracterização hidro-meteorológica das cheias inventariadas nas bacias em estudo

Neste capítulo pretende-se analisar as cheias inventariadas nas bacias em estudo, através da precipitação antecedente acumulada, dos respetivos períodos de retorno e dos tipos de tempo, para se possível, identificar um padrão das cheias em cada bacia de estudo. Sempre que possível, ou seja, nos eventos com dados hidrométricos, pretende-se comparar o comportamento do caudal com o da precipitação. De salientar que as ocorrências, foram registadas com base em notícias de jornais de referência e que provocaram algum tipo de dano, como estudado no Capítulo 2. Deste modo, as cheias investigadas afetaram de algum modo as populações, não sendo de excluir a ocorrência de outras que não tenham provocado nenhuma consequência. Como podemos verificar no Quadro 9.1, o número de ocorrências de cheias relativamente às quais há disponibilidade de dados hidrométricos e pluviométricos é bastante inferior ao número total de ocorrências. Assim, na bacia do Vez, a BDC-N detém 20 ocorrências de cheias, das quais 13 têm dados de precipitação diária e 3 têm dados de caudal médio diário. No caso da bacia do rio Este, das 32 cheias, 22 têm dados de precipitação e apenas uma apresenta dados de caudal médio diário. A bacia do rio Corgo é a que regista mais ocorrências (36), das quais 33 têm dados pluviométricos e 7 têm dados hidrométricos. Pelo contrário, a bacia do Távora é que apresenta menos ocorrências (8), sendo que 7 possuem dados de precipitação diária e 4 têm dados de caudal médio diário.

Quadro 9.1. Total de ocorrências nas bacias em estudo.

	Bacia do Vez	Bacia do Este	Bacia do Corgo	Bacia do Távora
<b>Ocorrências</b>	20	32	36	8
<b>Ocorrências com dados meteorológicos</b>	13	22	33	7
<b>Ocorrências com dados hidrométricos</b>	3	1	7	4



Face ao exposto e como o número de ocorrências é relativamente reduzido, decidimos estudar as cheias de dois ângulos distintos:

- Analisar as ocorrências nas bacias em estudo, registadas na BDC-N;
- Estudar os dias em que o limiar do quádruplo do módulo do caudal foi atingido ou superado, considerado por alguns autores como indicativo da ocorrência de uma cheia (Quintela, 1996; Rosa, 2011). Pretende-se com isto, verificar se os dias em que este limiar foi atingido são mais frequentes que as ocorrências registadas na BDC-N, analisando também os períodos de retorno das precipitações antecedentes.

Devido à falta de dados horários, foram utilizados dados diários de precipitação. A análise à precipitação antecedente e períodos de retorno foi feita com base em dados de precipitação diária das estações situadas nas áreas de cada bacia e com dados disponíveis para cada ocorrência e pelo método de probabilidade de excedência de extremos de *Gumbel* (1958). O estudo das precipitações antecedentes nos dias em que o limiar de caudal foi atingido recaiu sobre as estações meteorológicas com dados com o mesmo período temporal que as estações hidrométricas (bacia do Vez: estação de Casal Soeiro; bacia do Este: estação de Viatodos; bacia do Corgo: estação de Torre do Pinhão; e bacia do Távora, estação de Aguiar da Beira). Interessa ressaltar que os períodos de análise dos dados de cada bacia são diferentes, uma vez que os dados hidrométricos disponíveis têm intervalos distintos. Assim, neste capítulo pretende-se examinar do ponto de vista hidro-meteorológico as particularidades da ocorrência de cheias em cada bacia, nomeadamente as precipitações antecedentes, os períodos de retorno e os tipos de circulação atmosférica associados a cada cheia.

## 9.1. Bacia do rio Vez

### 9.1.1. Caracterização geral das cheias

Entre 1865 e 2011 estão registadas na BDC-N, 20 ocorrências de cheias na bacia do rio Vez. Três cheias estão classificadas como cheias rápidas e as restantes (17) estão identificadas como cheias progressivas. Destas, apenas uma, se encontra georreferenciada no centróide da freguesia e as restantes por georreferenciação aproximada. A área da Valeta concentra 11 das 20 ocorrências (Figura 9.1). Segundo Gonçalves (2009) as cheias na área da Valeta devem-se à falta de escoamento das águas da Ribeira de Vila Fonche, que desagua no Vez na Praia da Valeta. Em 2004, foram efetuadas obras de canalização que fizeram com que a ribeira de Vila

Fonche desagüe paralelamente ao rio Vez, para além de que foram construídos um novo açude na Azenha, uma escada de pesca e três comportas de profundidade, para que seja possível um maior escoamento no rio Vez (Carvalho, 2004). Das restantes cheias, seis estão georreferenciadas também na vila de Arcos de Valdevez, e apenas 3 estão localizadas nas freguesias de Parada, Gondoriz e Sabadim (Figura 9.1).

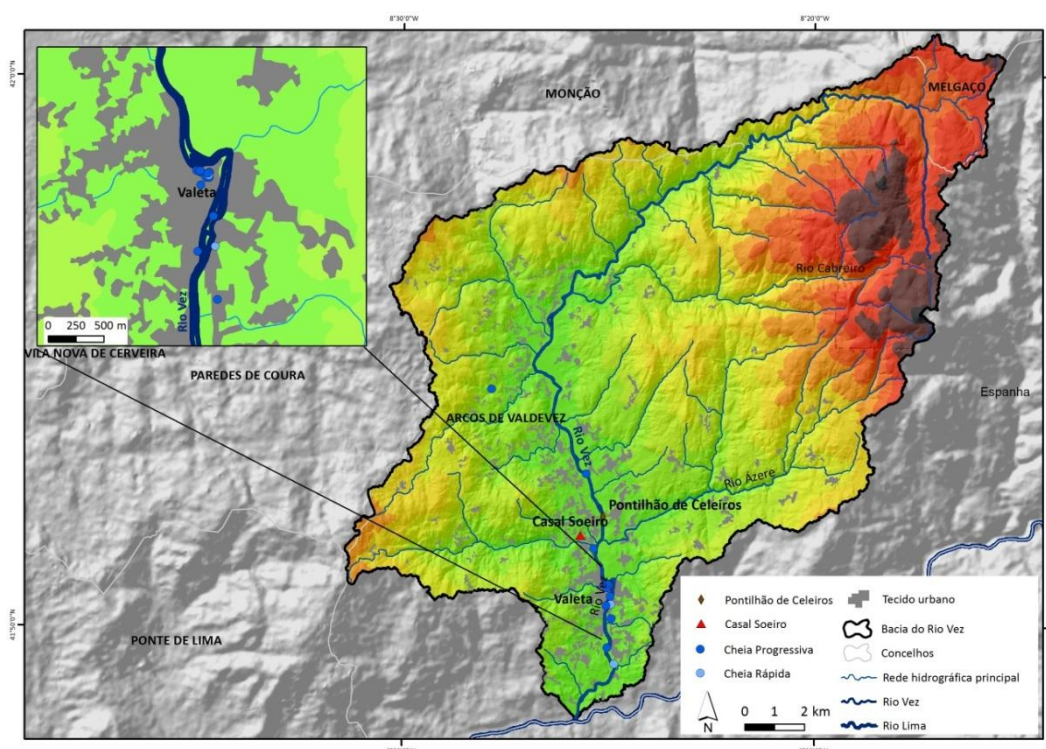


Figura 9.1. Localização das cheias na bacia do rio Vez.

O baixo número de ocorrências não permite identificar um período temporal mais sujeito a eventos de cheias. Deste modo, a maioria dos anos com ocorrências, regista apenas uma cheia, excetuando os anos de 1909 (2 ocorrências), 1929 (4 ocorrências), 1994 (2 ocorrências) e 2000 (2 ocorrências). Quanto à variação mensal das ocorrências, destacam-se os meses de inverno, com 14 cheias, das quais 9 ocorreram no mês de dezembro (Figura 9.2).

Analisando agora os dias cujo limiar do quíntuplo do módulo do caudal foi atingido, como indicativo da ocorrência de uma cheia, podemos verificar que entre 1959/60 a 1989/90, a estação de Pontilhão de Celeiros, registou 290 dias, ou seja, cerca de 11 dias por ano, cujo limiar foi ultrapassado. No entanto, a distribuição interanual é irregular, com anos com mais de 20 dias de cheia (1965/66, 1968/69, 1969/70 e 1978/79) e com anos com menos de 3 dias de cheia (1964/65, 1970/71) (Quadro 9.2). Quanto à distribuição mensal, os meses de inverno detêm 62% dos dias com caudal de cheia (Figura 9.3).

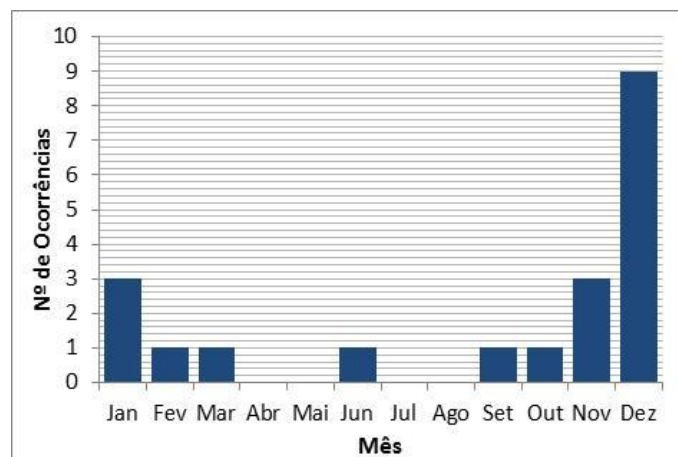


Figura 9.2. Número de ocorrências por mês na bacia do rio Vez.

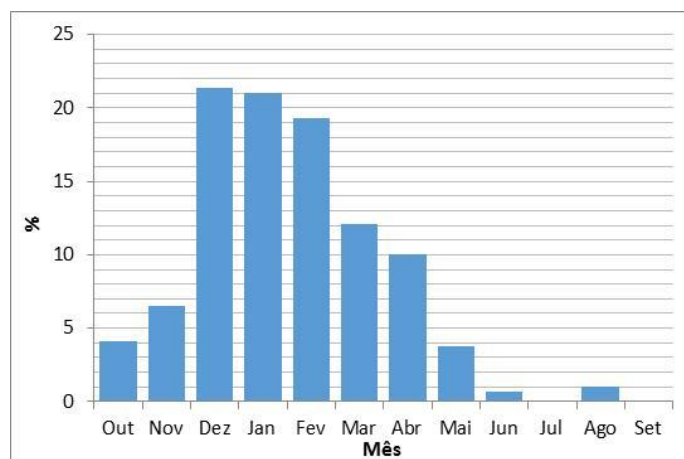


Figura 9.3. Distribuição mensal dos dias com caudal de cheia em Pontilhão de Celeiros.

Esta preponderância invernal explicar-se-á sobretudo devido ao facto de após longos períodos de precipitação, os solos já se encontrarem mais saturados e o escoamento superficial ser maior. De seguida, são os meses de primavera que se destacam com 30% dos dias. Os meses de verão, como seria de esperar, registam poucos dias de cheia, sendo que estes devem-se sobretudo a precipitações intensas e concentradas que ocorrem excecionalmente (Figura 9.3). Para além dos períodos temporais, observamos também o máximo de caudal diário e o coeficiente de flutuação de cheia. Cerca de 63% dos dias com caudal de cheia ocorrem isoladamente. De seguida, com 23%, surgem os períodos de 2 dias e com 8% assomam os períodos de 3 dias consecutivos com caudais de cheia. Os períodos consecutivos com 5, 6, 8 e 10 dias com caudais de cheia ocorrem em apenas 1% dos dias, cada (Figura 9.4).

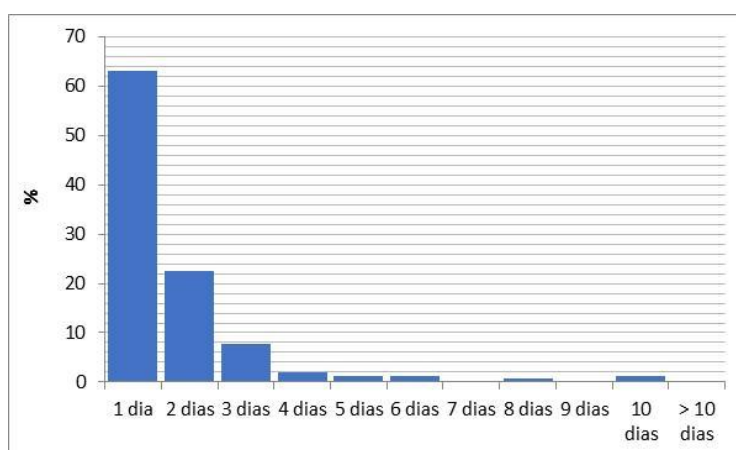


Figura 9.4. Número de dias consecutivos com caudal de cheia em Pontilhão de Celeiros.

O caudal do dia 11 de novembro de 1964 ultrapassou quase 200 vezes o caudal semipermanente do curso de água. Os dias 18 de janeiro de 1969, 5 e 17 de janeiro de 1970 e 27 de dezembro de 1980 apresentam também caudais superiores a 100 vezes o caudal semipermanente do rio Vez (Quadro 9.2).

Entre 1959/60 e 1989/90 registaram-se 155 eventos de cheias. Na BDC-N elaborada no âmbito deste trabalho apenas estão registadas 3 ocorrências que provocaram algum dano no mesmo período. Em termos de proporção entre os eventos que estão na BDC-N e os eventos de cheia que atingiram o limiar, entre 1959/60 a 1989/90, verifica-se uma probabilidade de 2,3%. Relativamente à magnitude das cheias com danos reportados, em relação aos eventos que atingiram o limiar, não é possível compará-los, porque não existem dados de caudal diário para os dias dos eventos. Estes dias são: 30 de dezembro de 1981, 15 de outubro de 1987 e 20 de dezembro de 1989. No entanto é possível verificar que no período antecedente do dia 30 de dezembro de 1981, o limiar de caudal de cheia foi atingido, continuando no dia seguinte.

Em relação ao dia 15 de outubro de 1987, também não há registo para o dia e no dia seguinte o limiar do caudal foi atingido com  $162 \text{ m}^3/\text{s}$ . Quanto ao dia 20 de dezembro de 1989, este está enquadrado num período consecutivo de 3 dias em que foi ultrapassado o limiar de caudal de cheia. Neste dia registaram-se  $195 \text{ m}^3/\text{s}$  de caudal diário.

Na bacia do rio Vez, os dias com caudal de cheia, são relativamente habituais, apesar de os registos que provocaram qualquer tipo de dano serem pouco frequentes. Esta situação deve-se sobretudo às condições geomorfológicas, climáticas e de ocupação do solo da bacia. Como vimos anteriormente, a bacia do Vez apresenta um declive médio de  $16^\circ$ , sendo que nas margens do rio Cabreiro, este valor atinge os  $70^\circ$ .

Quadro 9.2. Dias com caudal de cheia entre 1959/60 e 1989/90 em Pontilhão de Celeiros.

Ano Hidro	Data	Duração	Máximo	Total	Cfc
59-60	5 Fev	1	73,0	73,0	12,8
	17 Fev	1	74,9	74,9	13,1
	21 a 22 Fev	2	81,7	143,0	14,3
	24 a 25 Fev	2	246,6	310,5	43,3
	13 Mar	1	160,0	160,0	28,1
	25 a 27 Ago	3	82,8	235,3	14,5
60-61	31 Out	1	60,0	60,0	8,5
	10 Nov	1	66,5	66,5	9,4
	3 Jan	1	60,0	60,0	8,5
	25 Fev	1	120,0	120,0	16,9
61-62	24-Out	1	62,6	62,6	11,9
	03-Dez	1	60,0	60,0	11,4
	05-Dez	1	60,0	60,0	11,4
	09-Dez	1	70,4	70,4	13,4
	24 a 26 Dez	3	86,0	225,5	16,4
	01-Jan	1	63,9	63,9	12,2
	08-Mar	2	84,7	144,7	16,1
	31 Mar a 1 Abr	2	138,0	211,0	26,3
	06-Jan	1	83,4	83,4	24,3
62-63	19-Jan	1	87,6	87,6	25,5
	14 a 15 Fev	2	129,0	200,7	37,6
	9-Mar	1	59,0	59,0	17,2
	11-Mar	1	182,0	182,0	53,1
63-64	17-Mar	1	86,0	86,0	25,1
	10 a 11 Nov	2	680,0	739,0	197,1
	18-Nov	1	138,0	138,0	40,0
	18-Fev	1	84,7	84,7	24,6
	23-Fev	1	62,6	62,6	18,1
	14-Mar	1	79,5	79,5	23,0
	19 a 20 Mar	2	320,0	382,6	92,8
	02-Jun	1	66,7	66,7	19,3
	20-Jun	1	208,0	208,0	60,3
	29-Jan	1	171,0	171,0	65,5
64-65	14-Mar	1	61,3	61,3	23,5
	04-Out	1	60,0	60,0	8,5
65-66	21-Dez	1	525,0	525,0	74,2
	13-Jan	1	66,7	66,7	9,4
	24-Jan	1	62,6	62,6	8,8
	30 a 31 Jan	2	87,6	171,0	12,4
	8 a 9 Fev	2	320,0	458,0	45,2
	11-Fev	1	175,4	175,4	24,8
	13-Fev	1	66,7	66,7	9,4
	16 a 20 Fev	5	166,6	492,2	23,5
	25-Fev	1	129,0	129,0	18,2
	12-Abr	1	69,1	69,1	9,8
	18-Abr	1	184,6	184,6	26,1
	8 a 10 Mar	3	149,0	433,8	31,0
	07-Nov	1	92,4	92,4	30,5
	13 a 15 Abr	3	182,0	480,0	60,1
67-68	17-Abr	1	94,8	94,8	31,3
	30 Abr a 1 Mai	2	102,0	188,0	33,7
68-69	17-Dez	1	92,4	92,4	9,7
	20 a 21 Dez	2	400,0	473,0	41,8
	12-Jan	1	73,0	73,0	7,6
	15-Jan	1	73,0	73,0	7,6
	18-Jan	1	1100,0	1100,0	115,1
	28-Jan	1	102,0	102,0	10,7
	20 a 22 Fev	3	102,0	261,0	10,7
	12 a 13 Mar	2	480,0	553,0	50,2
	15 a 17 Mar	3	560,0	862,0	58,6
	23-Mar	1	73,0	73,0	7,6
	28-Mar	1	142,4	142,4	14,9
69-70	13-Out	1	73,0	73,0	18,7
	11 a 12 Nov	2	66,5	126,5	17,1
	1 a 6 Jan	6	400,0	1282,6	102,6
	16 a 17 Jan	2	520,0	890,0	133,3
	19 a 30 Jan	10	360,0	1515,6	92,3
	13-Mai	1	109,2	109,2	28,0
70-71	25-Nov	1	73,0	73,0	73,0
	11-Jan	1	73,0	73,0	73,0
71-72	2 a 3 Fev	2	66,5	126,5	66,5
	5 Fev	1	60,0	60,0	60,0
	10 a 11 Fev	2	138,0	211,0	138,0
72-73	20-Nov	1	86,0	86,0	86,0
	27-Dez	1	86,0	86,0	86,0
	21-Jan	1	73,0	73,0	73,0
	02-Mai	1	160,0	160,0	160,0
78-79	7 a 16 Dez	10	185,5	1350,6	36,6
	23 a 25 Dez	3	240,4	489,6	47,4
	27 a 31 Dez	5	238,3	815,9	47,0
	3 a 4 Jan	2	222,5	295,3	43,9
	04-Fev	1	289,3	289,3	57,1
	07-Fev	1	143,6	143,6	28,3
	10-Fev	1	330,8	330,8	65,2
	11-Fev	1	151,7	151,7	29,9
	15-Fev	1	68,0	68,0	13,4
	24 a 25 Mar	2	213,0	312,8	42,0
	9 a 10 Abr	2	101,1	172,4	19,9
	12-Abr	1	61,5	61,5	12,1
	29-Mai	1	61,8	61,8	12,2
79-80	13-Out	1	118,6	118,6	20,5
	13 a 14 Dez	2	288,7	377,6	49,9
	23 a 25 Jan	3	130,0	312,3	22,5
	26 a 29 Mar	4	186,0	550,4	32,2
	07-Mai	1	120,1	120,1	20,8
	19 a 20 Dez	2	180,4	264,1	54,5
80-81	27 a 28 Dez	2	354,1	650,4	107,0
	1 Abr	1	63,7	63,7	19,2
	13 a 14 Dez	2	161,5	240,0	56,3
81-82	20-Dez	1	61,8	61,8	21,5
	23 a 24 Dez	2	121,9	182,3	42,5
	28 a 29 Dez	2	95,2	162,1	33,2
	31-Dez	1	101,0	101,0	35,2
	04-Jan	1	85,9	85,9	29,9
82-83	12 a 14 Out	3	312,7	460,5	53,5
	11 a 13 Dez	3	240,8	381,4	41,2
	20 Dez	1	109,8	109,8	18,8
	22-Fev	1	134,9	134,9	23,1
	7 a 8 Abr	2	81,5	154,5	14,0
	21-Abr	1	85,9	85,9	14,7
83-84	11 a 12 Mai	2	78,9	144,1	13,5
	19 a 20 Dez	2	123,7	226,1	29,8
	07-Jan	1	62,4	62,4	15,0
	19-Jan	1	127,4	127,4	30,7
	22 a 23 Jan	2	82,3	155,7	19,8
	28 Mar	1	63,2	63,2	15,2
84-85	30-Mar	1	145,5	145,5	35,1
	2 a 4 Abr	3	254,5	407,7	61,3
	07-Nov	1	65,1	65,1	7,8
	23 a 26 Nov	4	148,6	429,4	17,8
	21 a 22 Jan	2	187,4	322,6	22,5
	15-Fev	1	134,9	134,9	16,2
85-86	26 a 27 Mar	2	71,4	136,5	8,6
	5 a 6 Abr	2	176,7	282,2	21,2
	09-Nov	1	58,8	58,8	10,4
86-87	03-Dez	1	94,7	94,7	16,8
	25-Dez	1	96,9	96,9	17,1
	27-Dez	1	76,4	76,4	13,5
	01-Jan	1	58,8	58,8	10,4
	07-Jan	1	84,2	84,2	14,9
	22-Fev	1	86,2	86,2	15,3
	24-Fev	1	63,8	63,8	11,3
	26-Fev	1	80,2	80,2	14,2
	21-Abr	1	147,5	147,5	26,1
	16-Out	1	162,2	162,2	30,7
87-88	30 a 31 Out	2	99,1	195,9	18,7
	13-Nov	1	78,3	78,3	14,8
	13-Dez	1	72,6	72,6	13,7
	5 a 7 Abr	3	230,5	426,8	43,6
	26-Fev	1	76,1	76,1	10,8
88-89	06-Mar	1	86,8	86,8	12,3
	13-Abr	1	68,3	68,3	9,7
	13-Nov	1	63,8	63,8	9,0
	11-Dez	1	62,1	62,1	8,8
	13-Dez	1	86,2	86,2	12,2
	16 a 17 Dez	2	118,0	217,1	16,7
89-90	24-Jan	1	82,2	82,2	11,7
	27 a 30 Jan	4	230,5	543,2	32,7
	01-Fev	1	86,2	86,2	12,2
	05-Fev	1	58,8	58,8	8,3
	08-Fev	1	63,8	63,8	9,0
89-90	20 a 21 Nov	2	101,6	192,7	41,8
	14-Dez	1	113,6	113,6	46,8
	18 a 25 Dez	8	195,2	616,7	55,1
89-90	27 Jan a 1 Fev	6	183,7	737,3	51,8

O declive elevado contribui para a velocidade de escoamento superficial, para a menor quantidade de infiltração e aumento da erosão hídrica. Para além disto, verificamos que a bacia se encontra na área mais chuvosa do país, com precipitações abundantes e frequentes sobretudo no inverno. No entanto, a ocupação do solo, principalmente florestal em toda a bacia e o tecido urbano descontínuo ocupando apenas 1,4% da área, pode justificar o baixo número de ocorrências de cheias que provocaram algum tipo de dano. O número de

ocorrências registadas, não indica que noutros locais, os cursos de água, não tenham estado em situação de cheia, significa apenas que não houve danos noticiados.

### 9.1.2. Precipitação antecedente e caudal máximo de cheia

A análise à precipitação antecedente só foi possível em 13 das 20 ocorrências. Como é visível no Quadro 9.3 e na Figura 9.5, o comportamento da precipitação antecedente é variável de ocorrência para ocorrência, o que pode originar cheias com diferentes magnitudes. Cada cheia é singular, resultando da combinação entre a precipitação, as condições de humidade do solo e as propriedades da bacia hidrográfica (Uhlenbrook *et al.*, 2002). As ocorrências dos dias 15 de outubro de 1987 e 21 de setembro de 1999 destacam-se pela intensidade da precipitação do dia, com mais de 145 mm diários e cerca de 6 mm/hora de precipitação média horária.

Quadro 9.3. Precipitação acumulada e intensidade diária (mm/h) das ocorrências com dados de precipitação diária na bacia do rio Vez.

Data	Ocorrências	Estação Meteorológica mais próxima	Intensidade Diária (mm/h)	Precipitação Acumulada											
				1 dia	2 dias	3 dias	4 dias	5 dias	10 dias	15 dias	30 dias	40 dias	60 dias	75 dias	90 dias
11-02-1936	1	Ponte da Barca	1,8	43	84	121	147	147	165	275	584	736	1223	1257	1472
05-06-1939	1	Ponte da Barca	1,2	28	33	39	46	49	49	49	56	98	141	295	295
30-12-1981	1	Casal Soeiro	2,3	56	90	121	145	157	331	426	680	680	680	712	834
15-10-1987	1	Casal Soeiro	6,2	149	187	188	192	203	269	357					
20-12-1989	1	Casal Soeiro	2,7	64	100	107	146	191	390	406	514	754	894	966	
09-01-1994	2	Casal Soeiro	2,2	53	119	131	147	290	385	449	504	520	681	768	894
21-09-1999	1	Casal Soeiro	6,0	145	176	185	283	286	312	312	369	370	474	474	495
07-12-2000	2	Casal Soeiro	3,9	93	103	132	171	181	278	356	570	894	988		
05-01-2001	1	Casal Soeiro	3,7	89	112	141	163	223	343	434	743	959	1245	1547	1639
26-12-2002	1	Casal Soeiro	1,4	34	60	65	89	107	129	129	129	130	210	230	202
24-03-2006	1	Casal Soeiro	2,2	52	104	110	125	133	173	176	283	403	404	431	480

Estas, foram cheias rápidas, que ocorreram ambas no outono, tendo o período de retorno para a precipitação do dia 15 de outubro de 1987 sido estimado em 18 anos e para a precipitação do dia 21 de setembro de 1999, de 16 anos (Quadro 9.4).

Com características bem distintas, estão as ocorrências dos dias 11 de fevereiro de 1936 e 5 de janeiro de 2001, cujas precipitações acumuladas têm maior importância (Quadro 9.3 e Figura 9.5). O ano hidrológico de 1935/36 foi o mais chuvoso da série anual de Ponte da Barca entre 1932/33 a 1998/99, enquanto o ano hidrológico de 2000/20001 em Casal Soeiro, foi o terceiro mais chuvoso entre 1960/61 a 2011/2012. Os valores acumulados destas duas ocorrências atingiram valores superiores a 1400 mm para os 90 dias antecedentes aos eventos. O Quadro 9.4 confirma a importância da precipitação acumulada para os 60 dias, para o dia 11 de fevereiro de 1936, em que o período de retorno é de 23 anos e para 75 dias para a ocorrência



de 5 de janeiro de 2001, com 19 anos de retorno da precipitação. Nas restantes ocorrências predominam as precipitações acumuladas entre os 5 os 40 dias, ocorrendo sobretudo durante o inverno. É de realçar, por isso, a importância da precipitação acumulada para as ocorrências das cheias no rio Vez.

A única cheia registada em junho (dia 5 de 1939) apresenta valores de precipitação muito baixos, refletindo-se nos valores de retorno tanto da precipitação do dia da ocorrência, como na precipitação antecedente acumulada. Esta ocorrência de cheia rápida provocou a inundação de várias casas e é caracterizada na notícia por uma “*pavorosa trovoada e muita chuva*” (Jornal de Notícias, 07-06-1939). Neste caso podemos supor três situações: a data da ocorrência está errada; os valores de precipitação registados estão errados; ou a precipitação ocorrida foi bastante concentrada no espaço não abrangendo a estação meteorológica de Ponte da Barca.

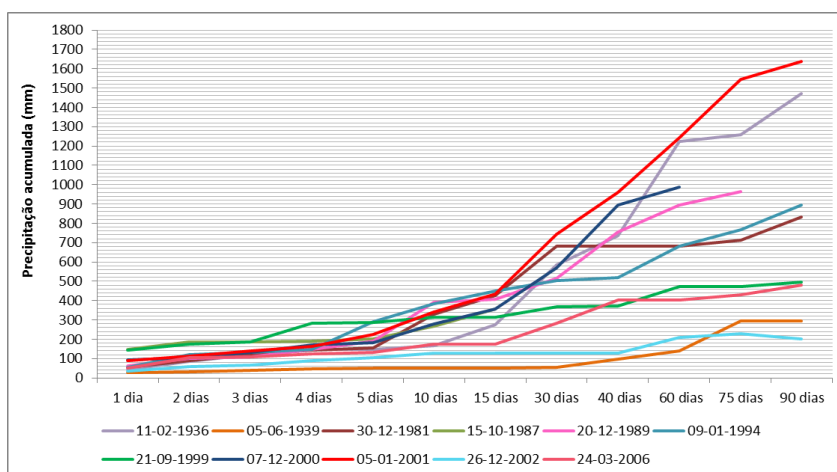


Figura 9.5. Precipitação acumulada para as ocorrências de cheias, na bacia do rio Vez.

As combinações críticas da quantidade/duração da precipitação permitem verificar se a classificação do tipo de cheia realizada durante a elaboração da BDC-N está correta. Dos 11 eventos com dados pluviométricos que correspondem a 13 ocorrências de cheias podemos verificar, que em dois eventos: do dia 15 de outubro de 1987 e do 21 de setembro de 1999 registaram-se cheias rápidas e não cheias progressivas, como estavam definidas na BDC-N.

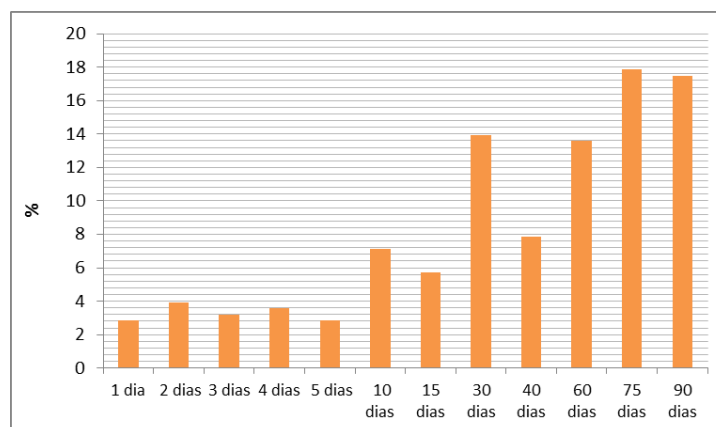
Analisando agora os dias que ultrapassaram o limiar de situação de cheia, na estação hidrométrica de Pontilhão de Celeiros, entre 1959/60 a 1989/90, podemos concluir que as combinações críticas (quantidade/duração) são mais elevadas para as precipitações acumuladas de 60, 75 ou 90 dias, perfazendo um total de 49% do total dos dias.



**Quadro 9.4. Período de retorno (em anos) para a precipitação acumulada das ocorrências de cheias na bacia do rio Vez.**

Data	Ocorrências	Precipitação Acumulada											
		1 dia	2 dias	3 dias	4 dias	5 dias	10 dias	15 dias	30 dias	40 dias	60 dias	75 dias	90 dias
11-02-1936	1	1,0	1,1	1,3	1,4	1,1	1,0	1,3	4,1	5,4	23,1	12,0	16,6
05-06-1939	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
30-12-1981	1	1,1	1,3	1,5	1,6	1,5	3,7	4,1	5,9	3,5	2,1	1,8	2,0
15-10-1987	1	17,9	8,1	3,9	2,8	2,4	2,1	2,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
20-12-1989	1	1,3	1,5	1,3	1,6	2,1	6,6	3,5	2,7	4,8	4,2	3,3	1,0
09-01-1994	2	1,1	2,0	1,7	1,6	7,8	6,3	4,9	2,5	2,0	2,1	2,0	2,2
21-09-1999	1	15,5	6,4	3,7	11,3	7,3	3,1	1,9	1,5	1,3	1,3	1,2	1,2
07-12-2000	2	2,5	1,6	1,7	2,1	1,9	2,3	2,5	3,4	8,8	5,8		
05-01-2001	1	2,2	1,8	1,9	1,9	3,1	4,1	4,3	8,2	11,8	15,0	19,2	15,4
26-12-2002	1	1,0	1,1	1,0	1,1	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
24-03-2006	1	1,1	1,6	1,3	1,3	1,2	1,2	1,1	1,2	1,4	1,2	1,2	1,2

Pelo contrário, os dias com períodos de retorno mais baixos, de 1, 2 ou 3 dias, correspondem apenas a 10% do total dos dias que ultrapassaram o limiar em situação de cheia (Figura 9.6). Estes resultados comprovam a importância da precipitação acumulada no desencadeamento das cheias na bacia do Vez.



**Figura 9.6. Durações críticas dos dias com caudal superior ao limiar de situação de cheia em Pontilhão de Celeiros.**

De seguida, será feita uma análise mais pormenorizada às ocorrências de cheias, comparando a precipitação diária antecedente com o caudal médio diário.

### **Cheia de 30 de dezembro de 1981**

A cheia de 30 de dezembro de 1981 provocou 2 desalojados. Como podemos verificar na Figura 9.7 (a linha vermelha vertical indica a ocorrência da cheia), no dia da ocorrência a precipitação diária foi de 55,5 mm. Como já foi referido anteriormente, os dados diários

disponibilizados pelo SNIRH da APA, correspondem a um período de 24h entre as 9h de um dia e as 9h do dia seguinte. Desta forma, muitas vezes, as precipitações desencadeantes das cheias estão repartidas por dois dias o que dificulta toda esta análise. A precipitação diária do dia seguinte foi de 41,2 mm, o que no total dos dois dias corresponde a 96,7 mm. No entanto, é a precipitação acumulada que tem um papel determinante na ocorrência da cheia. Desde o início do mês de dezembro até ao dia da ocorrência, a precipitação acumulada foi de 680 mm. Se contabilizarmos desde o início do ano hidrológico este valor sobe para 834 mm de precipitação acumulada. Desde o dia 9 de dezembro que ocorre precipitação na estação de Casal Soeiro, e por isso o período de retorno para a precipitação acumulada em 30 dias é de 6 anos.

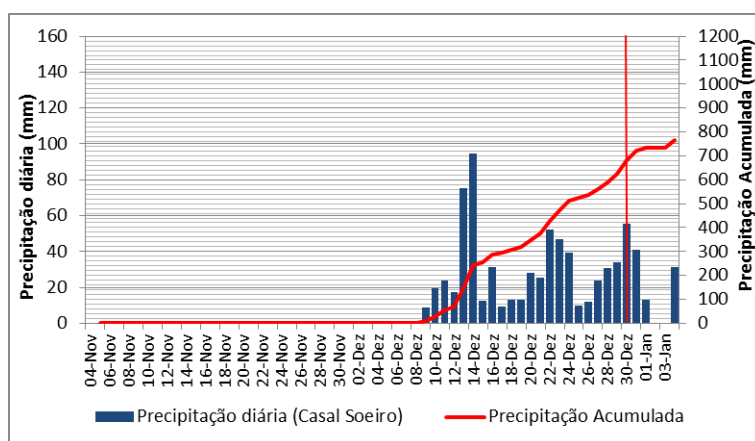


Figura 9.7. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 4 de novembro de 1981 e 4 de janeiro de 1982.

O período contínuo de precipitação desde o dia 9 de dezembro contribuiu para o aumento do caudal, nomeadamente no dia 13 de dezembro, registando-se 162 m<sup>3</sup>/s de caudal diário. No dia da ocorrência da cheia verificou-se uma falha no registo do caudal e por isso não é possível compará-lo com a precipitação. Sabemos apenas que no dia seguinte o caudal foi de 101 m<sup>3</sup>/s (Figura 9.8).

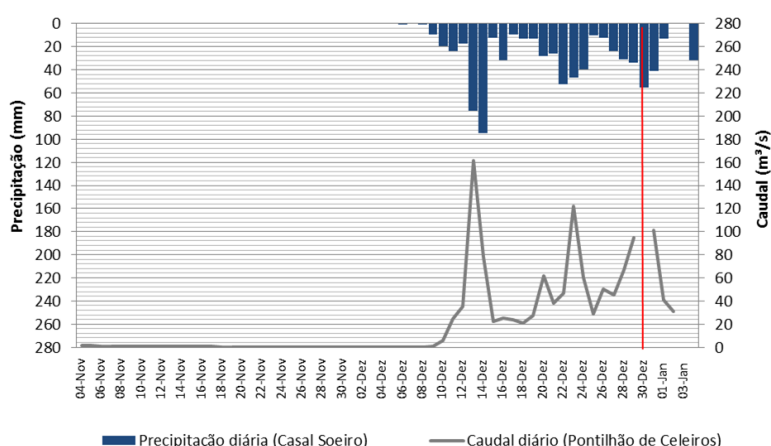


Figura 9.8. Hidrograma de cheia do dia 30 de dezembro de 1981.

### Cheia de 15 de outubro de 1987

A cheia de 15 de outubro de 1987 provocou prejuízos e destruição na vila de Arcos de Valdevez. No dia da ocorrência assinalaram-se, em Casal Soeiro, 149 mm de precipitação diária. Nos dias anteriores registou-se quase sempre precipitação, acumulando desde o início do ano hidrológico, 357 mm (Figura 9.9: a linha vermelha vertical indica a ocorrência da cheia).

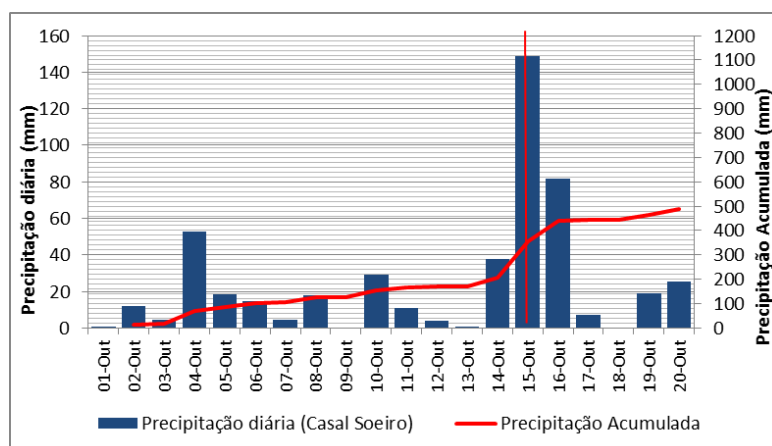


Figura 9.9. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 1 de outubro de 1987 e 20 janeiro de 1987.

A precipitação acumulada nos dias anteriores à cheia levou a um aumento gradual do caudal, sendo no dia 13 de outubro de 30 m<sup>3</sup>/s. A partir deste dia não há anotação do caudal até ao dia 16, dia seguinte à ocorrência, com o registo de 162 m<sup>3</sup>/s. Nesta situação comprova-se a importância da precipitação do dia, com um período de retorno de 18 anos. Não é possível comparar com os dados do caudal diário, mas pela análise do hidrograma, presume-se que os valores tenham sido elevados (Figura 9.10).

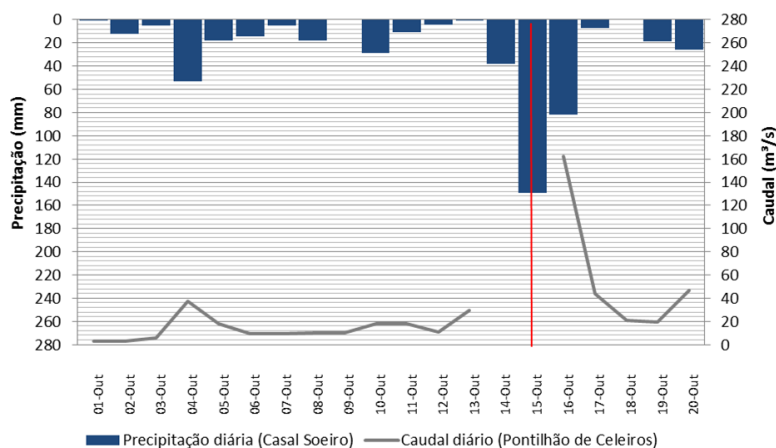
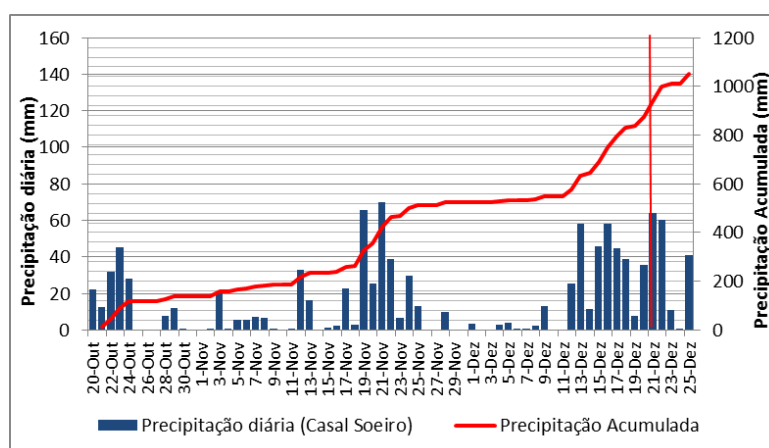


Figura 9.10. Hidrograma de cheia do dia 15 de outubro de 1987.

### ***Cheia de 20 de dezembro de 1989***

A cheia de 20 de dezembro de 1989 provocou 2 mortos e segundo a notícia, ocorreu às 13.30h. Desta forma tivemos em conta no cálculo do período de retorno a precipitação do dia seguinte. Neste dia, registaram-se em Casal Soeiro, 64 mm de precipitação. É visível na Figura 9.11 e na Figura 9.12 (a linha vermelha vertical indica a ocorrência da cheia), que nos dias anteriores à ocorrência, desde o dia 12 de dezembro, sucede sempre precipitação.



*Figura 9.11. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 20 outubro e 25 de dezembro de 1989.*

Nestes 10 dias, o valor acumulado foi de 390 mm de precipitação, correspondendo-lhe um tempo de retorno de 7 anos. No total, desde os 75 dias anteriores até à data da ocorrência a precipitação acumulada foi de 966 mm. Analisando o caudal diário (Figura 9.11) verificamos que é partir do dia 12 de dezembro, que os valores começam a subir. Do dia 15 a 17 de dezembro não há registo do caudal diário. A partir do dia 18, o caudal retoma um forte crescimento, sendo no dia 20 de dezembro de 195 m<sup>3</sup>/s. No dia 21 volta a não haver registo do caudal. Nesta ocorrência de cheia, a importância no desencadear da cheia recai na precipitação acumulada sobretudo nos dez dias anteriores à ocorrência, culminando no dia da ocorrência com uma precipitação relativamente intensa (Figura 9.11 e Figura 9.12).

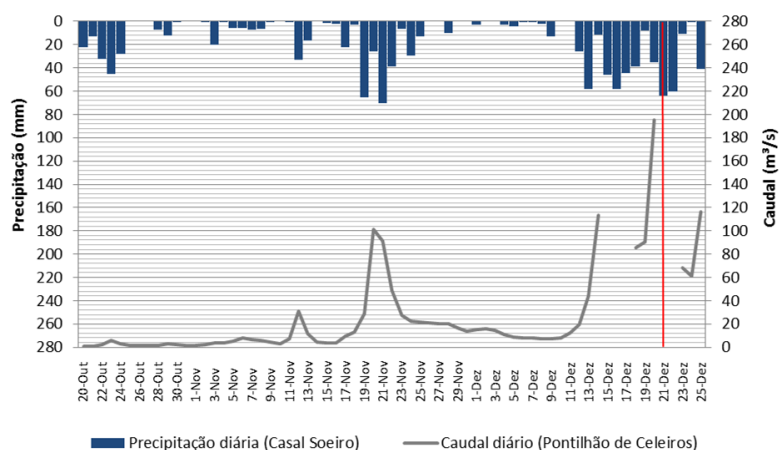


Figura 9.12. Hidrograma de cheia do dia 20 de dezembro de 1989.

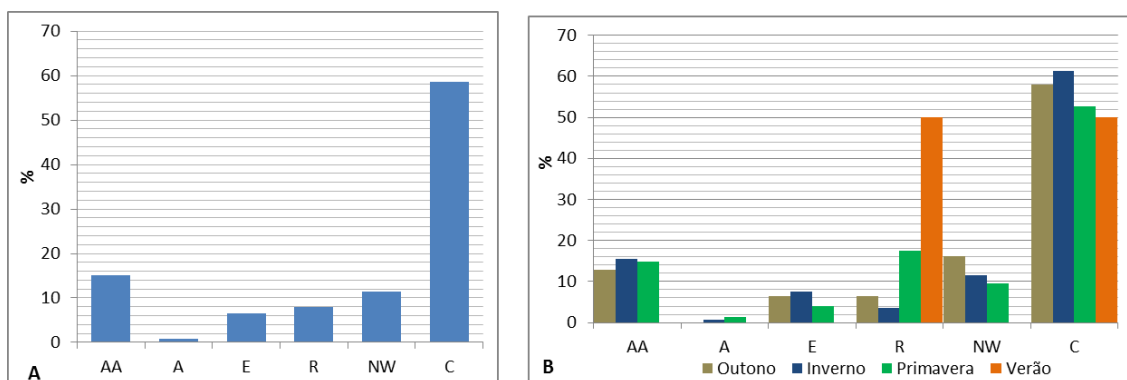
### 9.1.3. Causas meteorológicas das cheias

Como estudámos no Capítulo 2, à escala da região Norte, o tipo de tempo de circulação C (ciclónico) está relacionado com a ocorrência das cheias, tanto no dia, como nos dez dias antecedentes. No entanto, no verão são os tipos A (anticiclónico) e E (vento leste) que estão mais relacionados com a ocorrência de cheias, podendo dever-se a situações espacialmente localizadas que não são detetadas pela circulação geral na região. Ao analisarmos, os tipos de tempo registados nos dias das ocorrências de cheias na bacia do rio Vez, confirmamos que é o tipo de circulação atmosférica C que predomina em 18 das 20 ocorrências. No dia 11 de fevereiro de 1936 a circulação predominante é a AA (anticiclónico dual) e no dia 5 de junho de 1936 é a E (vento de leste). Nestas duas ocorrências os valores de precipitação do dia não são muito significativos realçando-se para a primeira ocorrência a precipitação acumulada, enquanto para a segunda, se coloque a hipótese de uma situação de precipitação mais localizada ou, eventualmente, a data da ocorrência estar errada (Quadro 9.5).

Nos dias em que o limiar de caudal em situação de cheia foi ultrapassado predomina também o tipo de circulação ciclónico (C), em 59% dos dias. De seguida destacam-se os tipos AA (15% dos dias) e NW (vento noroeste) (em 11% dos dias) (Figura 9.13. A). Estes resultados podem-se dever-se ao facto de, na sequência de situações de cheias prolongadas, mesmo após se verificar uma melhoria do estado do tempo, o caudal ainda continuar elevado. Por estações do ano, o tipo C continua a ter a maior importância, em todas as estações (Figura 9.13. B).

**Quadro 9.5.** *Tipos de tempo registado nos dias das ocorrências das cheias registadas na bacia do Vez.*

Data	Ocorrências	WR
21-12-1909	2	C
11-12-1914	1	C
23-11-1929	2	C
25-11-1929	1	C
04-12-1929	1	C
11-02-1936	1	AA
05-06-1939	1	E
30-12-1981	1	C
15-10-1987	1	C
20-12-1989	1	C
09-01-1994	2	C
21-09-1999	1	C
07-12-2000	2	C
05-01-2001	1	C
26-12-2002	1	C
24-03-2006	1	C



**Figura 9.13.** *Tipos de tempo nos dias com caudal em situação de cheia (A) e tipos de tempo nos dias com caudal em situação de cheia por estações do ano (B) na bacia do rio Vez.*

## 9.2. Bacia do rio Este

### 9.2.1. Caracterização geral das cheias

Na BDC-N, estão registadas 32 ocorrências, entre 1865 e 2011 na bacia do rio Este. Três cheias estão classificadas como cheias rápidas e as restantes (17) estão identificadas como cheias progressivas. Uma ocorrência encontra-se georreferenciada no centróide da freguesia, outra no centróide do concelho e as restantes por georreferenciação aproximada. Como podemos verificar na Figura 9.14, 15 ocorrências localizam-se na cidade de Braga e 6 situam-se na freguesia de Nine, em Vila Nova de Famalicão. Na cidade de Braga, a elevada densidade

populacional, a construção em leito de cheia e a canalização do rio Este (Teles, 2001; Teles & Laranjeira, 2004) agravam as possíveis situações de cheias.

Recentemente, o rio esteve sujeito a obras de reabilitação na zona urbana da cidade de Braga, com o objetivo de regularizar e renaturalizar um troço do rio, através da criação de uma pequena bacia de retenção e remoção do betão do leito do rio e das paredes laterais, substituindo-o por materiais naturais (Silva, 2014).

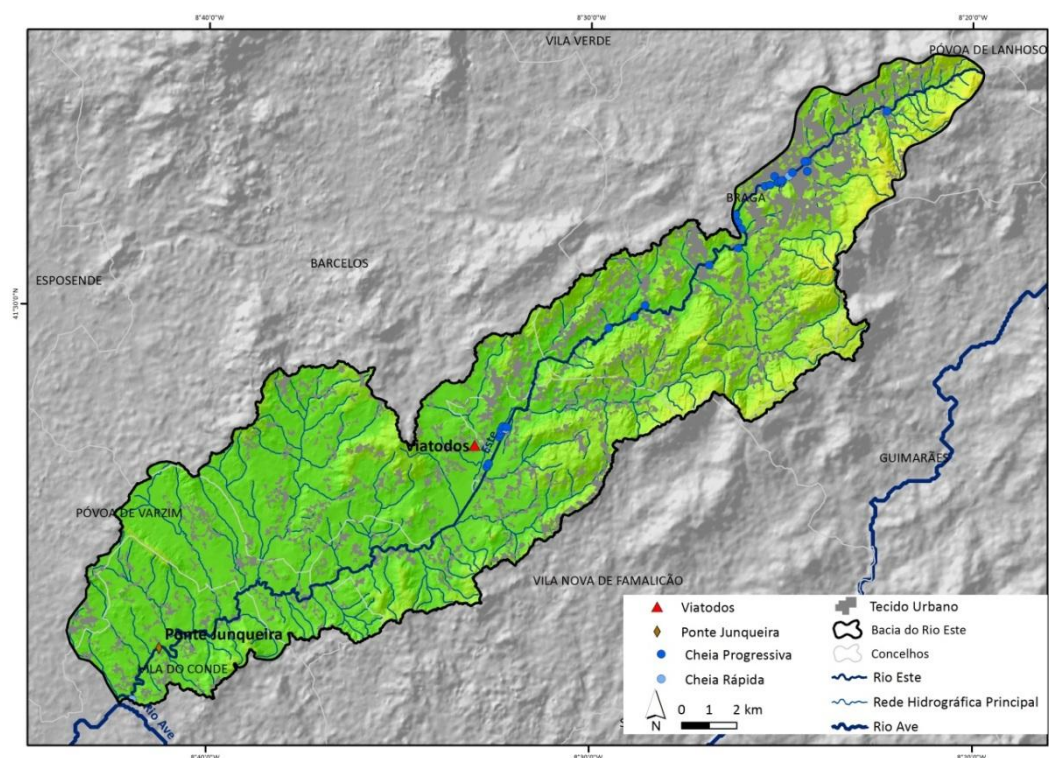


Figura 9.14. Localização das cheias na bacia do rio Este.

Os anos de 1909 e 1939 destacam-se com o registo de 4 e 5 ocorrências, respetivamente. Nos anos de 1935, 1966, 2001 e 2011 registaram-se 2 ocorrências em cada ano. Na década de 30, assinalam-se 7 anos com ocorrências de cheias na bacia do rio Este. Os meses de janeiro e dezembro sinalizaram, 11 e 12 ocorrências, respetivamente. Do lado oposto, encontram-se os meses de verão (junho, julho, agosto) e março sem o registo de nenhuma ocorrência. Nos meses de outono, ocorreram 5 cheias (2 em setembro e 3 em outubro) (Figura 9.15).

A análise aos dias em que o limiar do quíntuplo do módulo do caudal foi atingido, como indicativo da ocorrência de uma cheia, entre 1977/78 a 1999/00, na estação hidrométrica de Ponte Junqueira, permitiu identificar 128 dias, ou seja cerca de 6 dias por ano, cujo limiar foi ultrapassado. A distribuição interanual é muito desigual, com anos sem ocorrência de nenhum dia cujo limiar foi ultrapassado (9 dos 29 anos em análise) (Quadro 9.6). Pelo contrário,



destacam-se os anos hidrológicos de 1978/79 com a ocorrência de 50 dias em que o limiar de caudal de cheia foi ultrapassado e o de 1995/96, com o registo de 22 dias.

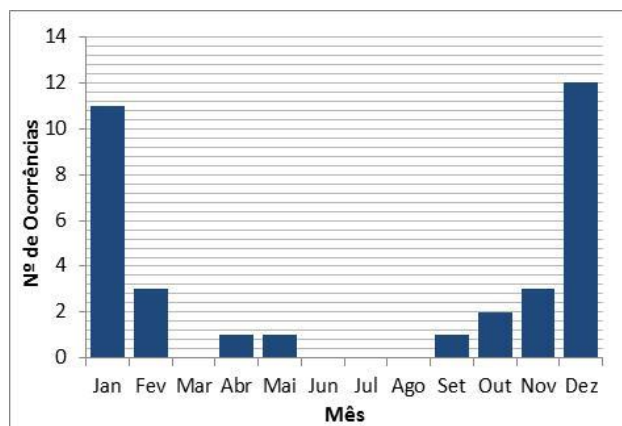


Figura 9.15. Número de ocorrências por mês na bacia do rio Este.

Quanto à distribuição mensal, os meses de inverno detêm 80% dos dias com caudal de cheia, sendo o mês de fevereiro o que mais se destaca (36%). Os meses de primavera detêm 13% dos dias e os meses de outono 6%. Em toda a série de dados os meses de verão não registaram nenhum dia que atingiu o limiar definido (Figura 9.16).

Na Figura 9.17 pode-se observar o número de dias consecutivos com caudal de cheia em Ponte Junqueira. Os resultados mostram que 46% dos dias ocorrem isoladamente e 20% dos dias ocorrem em períodos de 2 dias. De destacar o facto de que os períodos com mais de dez dias consecutivos acontecem em 11% dos dias (Figura 9.17). No Quadro 9.6 estão patentes os dias por ano hidrológico que ultrapassaram o limiar de cheia, o máximo de caudal diário e o coeficiente de flutuação de cheia.

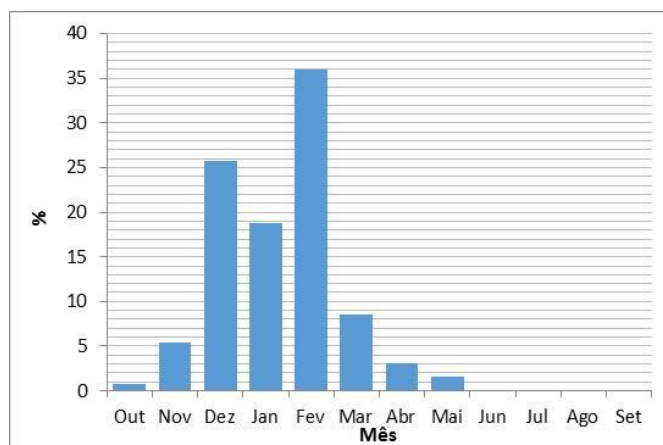


Figura 9.16. Distribuição mensal dos dias com caudal de cheia em Ponte Junqueira.

O valor máximo de caudal diário ocorreu no dia 30 de dezembro de 1978 com  $80 \text{ m}^3/\text{s}$ . A maior duração de dias com ultrapassagem do limiar sucedeu também no ano hidrológico de 1978/79, com 16 dias consecutivos. No entanto, foi no ano hidrológico de 1981/82 que se registou o valor mais elevado do coeficiente de flutuação de cheia, sendo o caudal máximo instantâneo no dia 31 de dezembro de 1981 cerca de 36 vezes o caudal semipermanente do curso de água nesse ano hidrológico (Quadro 9.6).

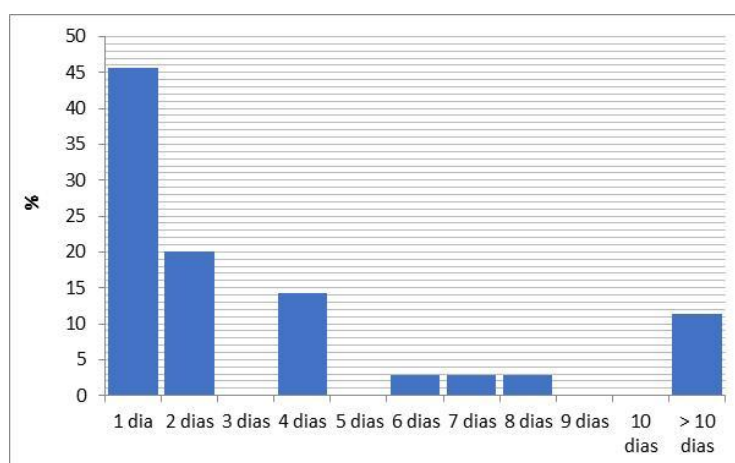


Figura 9.17. Número de dias consecutivos com caudal de cheia em Ponte Junqueira.

Entre 1977/78 e 1999/00 registaram-se 128 dias com caudal de cheia, repartidos por 35 eventos. Neste período, apenas uma ocorrência está registada na BDC-N. Este dia foi o 30 de dezembro de 1981, em que o limiar de caudal de cheia foi ultrapassado de 28 de dezembro e 2 de janeiro.

Em termos de proporção entre os eventos que estão na BDC-N e os eventos de cheia que atingiram o limiar, entre 1977-78 a 1999-00, podemos verificar uma probabilidade de 2,9%. Esta cheia, de 30 de dezembro de 1981 com dados reportados, apresenta uma maior magnitude, em relação aos restantes eventos que atingiram o limiar, uma vez que assinala o CFc mais elevado (Quadro 9.6).

Na bacia do rio Este, que apresenta uma forma alongada e um relevo pouco acentuado, os dias com caudal de cheia, ocorrem com pouca frequência, apesar de os registos que provocaram qualquer tipo de dano sejam em maior número do que, por exemplo, na bacia do rio Vez. Esta situação deve-se sobretudo à ocupação do solo na bacia. A bacia apesar de maioritariamente agrícola tem núcleos urbanos importantes, ocupando cerca de 14% da área da bacia. É o caso da cidade de Braga, onde a impermeabilização do solo, a ocupação dos leitos de cheia e a canalização de rio agravam as possíveis consequências das cheias.

Quadro 9.6. Dias com caudal de cheia entre 1978/79 e 1999/00 em Ponte Junqueira.

Ano Hidro	Data	Duração	Máximo	Cfc
78-79	9 a 16 Dez	8	44,8	9,5
	23 Dez a 5 Jan	14	80,3	17
	27 a 28 Jan	2	45,3	9,6
	3 a 18 Fev	16	75,1	15,9
	2 a 5 Mar	4	65,1	13,8
	24 a 27 Mar	4	66,7	14,1
	10 a 11 Abr	2	35,3	7,47
81-82	28 Dez a 2 Jan	6	61,3	35,7
	04-Jan	1	31,0	18
82-83	25-Fev	1	30,7	7,96
	16 a 17 Mai	2	34,0	8,81
83-84	23-Dez	1	30,9	7,35
	01-Abr	1	33,8	8,05
	03-Abr	1	31,6	7,52
84-85	16-Nov	1	51,6	8,81
	22-Nov	1	30,5	5,22
	24 a 27 Nov	4	58,4	9,99
	01-Dez	1	30,2	5,17
	03-Dez	1	37,5	6,41
	23-Jan	1	42,3	7,23
	25 a 26 Jan	2	42,7	7,29
	8 a 11 Fev	4	65,2	11,1
86-87	28-Fev	1	41,9	10,3
87-88	16-Out	1	32,9	5,24
	27 Jan a 9 Fev	13	45,8	7,3
89-90	24-Nov	1	36,6	11,7
	16 a 23 Dez	7	38,5	12,3
90-91	28 Fev a 1 Mar	2	41,5	11,9
	12 a 13 Mar	2	36,3	10,4
94-95	24-Jan	1	32,0	7,89
95-96	25 a 26 Dez	2	34,7	5,98
	15-Jan	1	34,7	5,98
	20 a 23 Jan	4	39,9	6,88
	03-Fev	1	34,7	5,99
	6 a 19 Fev	14	31,9	5,51

### 9.2.2. Precipitação antecedente e caudal máximo de cheia

A análise à precipitação antecedente só foi possível em 22 das 32 ocorrências. Foram utilizados os dados diários da estação de Viatodos, entre 1931/32 a 2006/07. Como já acontecia na bacia do rio Vez, o comportamento da precipitação antecedente é variável de ocorrência para

ocorrência. As ocorrências dos dias 21 de setembro de 1932 e 31 de março de 1962 destacam-se pela intensidade da precipitação diária, superior a 5 mm médios por hora. Estas cheias rápidas registraram mais de 121 mm de precipitação diária, correspondendo-lhes um período de retorno de 41 e 19 anos, respectivamente (Quadro 9.7 e Quadro 9.8). As ocorrências dos dias 19 de janeiro de 1936, 12 de fevereiro de 1966 e 5 de janeiro de 2001 refletem a importância da precipitação acumulada a 90 dias, com valores próximos da precipitação média anual.

O Quadro 9.8 mostra os períodos de retorno para as diferentes durações temporais. O período de retorno mais elevado é de 493 anos para 3 dias no dia 31 de março de 1962. Dez das 32 ocorrências apresentam períodos de retorno mais elevados até 4 dias de precipitação acumulada. Do lado oposto estão 7 ocorrências, todas no inverno, que apresentam períodos de retorno mais elevados para as precipitações acumuladas de 60 a 90 dias (Quadro 9.8).

*Quadro 9.7. Precipitação acumulada e intensidade diária (mm/h) das ocorrências com dados de precipitação diária na bacia do rio Este.*

Data	Ocorrências	Estação Meteorológica mais próxima	Intensidade Diária (mm/h)	Precipitação Acumulada											
				1 dia	2 dias	3 dias	4 dias	5 dias	10 dias	15 dias	30 dias	40 dias	60 dias	75 dias	90 dias
21-09-1932	1	Viatodos	5,6	134	143	143	143	143	153	174	178	196	196	226	262
11-12-1934	1	Viatodos	2,0	48	33	39	46	49	49	49	56	98	141	295	295
19-11-1935	1	Viatodos	2,7	64	109	109	148	168	235	300	348	351			
26-12-1935	1	Viatodos	0,8	20	69	107	135	140	289	299	351	549	782	788	
19-01-1936	1	Viatodos	3,4	82	109	109	134	148	149	212	556	677	774	1114	1166
27-01-1937	1	Viatodos	1,6	39	88	90	109	163	267	329	335	392	444	459	603
15-01-1939	1	Viatodos	2,4	58	117	146	161	166	184	220	226	391	578	615	640
16-01-1939	1	Viatodos	2,7	64	122	181	211	225	248	265	290	423	640	680	704
17-01-1939	2	Viatodos	1,4	33	98	156	215	244	282	295	319	455	674	713	738
01-11-1939	1	Viatodos	1,0	24	31	45	49	68	68	70	190				
20-01-1941	1	Viatodos	1,9	46	88	95	97	104	111	111	241	248	294	505	600
14-12-1955	1	Viatodos	1,1	26	52	63	71	71	71	79	79	165	381	381	
09-12-1959	1	Viatodos	2,6	61	77	124	154	157	254	306	501	512	641		
31-03-1962	1	Viatodos	5,0	121	205	314	337	369	378	384	496	550	554	602	733
12-02-1966	1	Viatodos	2,6	61	80	126	146	174	194	240	428	579	742	880	1123
19-02-1966	1	Viatodos	2,2	52	59	130	137	166	291	392	519	715	910	1031	1176
06-01-1974	1	Viatodos	1,3	30	58	76	76	76	84	119	177	195	195	238	323
30-12-1981	1	Viatodos	3,5	84	113	145	181	193	377	470	598	598	598	627	719
05-01-2001	2	Viatodos	2,0	47	94	124	130	180	277	363	628	789	969	1206	1290
25-11-2006	1	Viatodos	1,6	39	63	78	85	93	191	191	207	207			

Nos dias em que o limiar de cheia foi atingido, os períodos de retorno são mais elevados para a precipitação acumulada de 60, 75 ou 90 dias, perfazendo um total de 57% do total dos dias.

As combinações críticas da quantidade/duração da precipitação permitem verificar que dos 20 eventos de cheia, 2 que estavam classificados como cheias rápidas, não o são. São os dias de 31 de março de 1962 e 24 de novembro de 2006. Deste modo, dos eventos com dados de precipitações, 19 são cheias progressivas e apenas 1 é uma cheia rápida.

Quadro 9.8. Período de retorno (em anos) para a precipitação acumulada das ocorrências de cheias na bacia do rio Este.

Data	Ocorrências	Precipitação Acumulada											
		1 dia	2 dias	3 dias	4 dias	5 dias	10 dias	15 dias	30 dias	40 dias	60 dias	75 dias	90 dias
21-09-1932	1	41,3	8,3	2,8	1,8	1,4	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
11-12-1934	1	1,0	2,0	1,9	2,5	2,0	1,7	1,2	1,2	1,5	1,1		
19-11-1935	1	1,3	2,4	1,4	2,0	1,9	1,8	2,0	1,4	1,2			
26-12-1935	1	1,0	1,0	1,3	1,6	1,3	3,5	2,0	1,4	2,8	4,1	2,7	
19-01-1936	1	2,6	2,3	1,4	1,6	1,5	1,0	1,1	4,9	6,0	3,9	10,2	7,5
27-01-1937	1	1,0	1,3	1,1	1,1	1,8	2,6	2,7	1,3	1,4	1,2	1,1	1,3
15-01-1939	1	1,2	3,1	3,0	2,5	1,9	1,2	1,2	1,0	1,4	1,7	1,5	1,4
16-01-1939	1	1,4	3,7	8,1	8,3	5,9	2,1	1,5	1,2	1,5	2,2	1,9	1,6
17-01-1939	2	1,0	1,7	3,9	9,2	9,0	3,2	1,9	1,3	1,7	2,5	2,1	1,8
01-11-1939	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0				
20-01-1941	1	1,0	1,3	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,0	1,2	1,3
14-12-1955	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	
09-12-1959	1	1,3	1,1	1,8	2,2	1,7	2,2	2,1	3,3	2,3	2,2		
31-03-1962	1	19,4	121,2	493,4	238,2	161,2	13,7	4,8	3,2	2,8	1,6	1,5	1,7
12-02-1966	1	1,3	1,2	1,9	1,9	2,2	1,3	1,3	2,1	3,3	3,4	3,8	6,4
19-02-1966	1	1,1	1,0	2,1	1,6	1,9	3,6	5,3	3,7	7,6	7,6	7,1	7,8
06-01-1974	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
30-12-1981	1	2,8	2,6	2,9	4,0	3,1	13,3	13,5	6,6	3,7	1,9	1,6	1,7
05-01-2001	2	1,0	1,5	1,8	1,5	2,4	3,0	3,8	8,3	12,3	10,3	15,4	12,2
25-11-2006	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,2	1,1	1,0	1,0			

Os dias com períodos de retorno mais baixos, de 1, 2 ou 3 dias, correspondem apenas a 3% do total dos dias que ultrapassaram o limiar em situação de cheia. A precipitação acumulada para durações superiores a 10 dias apresenta uma maior importância para os dias que ultrapassaram o limiar na bacia do rio Este (Figura 9.18).

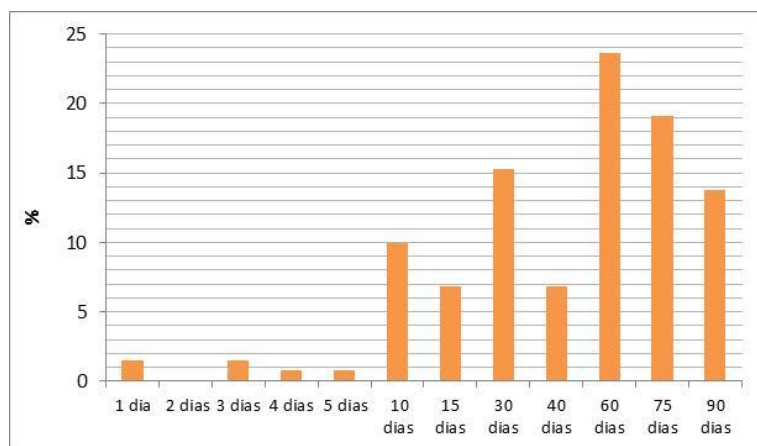


Figura 9.18. Durações críticas dos dias com caudal superior ao limiar de situação de cheia em Ponte Junqueira.

**30 de dezembro de 1981**

A cheia de 30 de dezembro de 1981 provocou vários desalojados. Também neste dia ocorreu uma cheia no rio Vez. A precipitação diária foi de 84 mm, mas desde o início do mês de dezembro o total da precipitação acumulada foi de quase 600 mm. Se contabilizarmos desde o início do ano hidrológico este valor sobe para 719 mm de precipitação antecedente acumulada. Como se pode constatar na Figura 9.19 (a linha vermelha vertical indica a ocorrência da cheia), desde o dia 8 de dezembro que a precipitação ocorre quase todos os dias. Por isso, o tempo de retorno para a precipitação acumulada de 15 dias é de 14 anos. Ao compararmos a precipitação diária antecedente e o caudal médio diário, verificamos que há um aumento gradual do caudal, sucedendo o valor mais elevado no dia 31 de dezembro com  $61 \text{ m}^3/\text{s}$ .

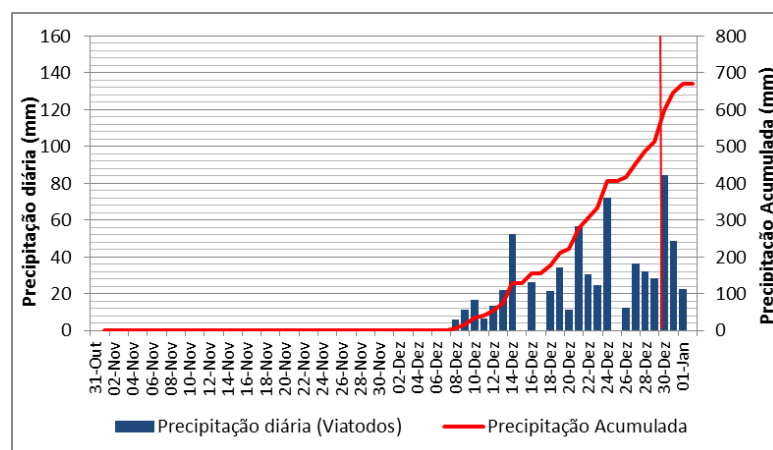


Figura 9.19. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 31 de outubro de 1981 e 2 de janeiro de 1982.

Esta discrepância entre o dia da cheia (30 de dezembro) e o dia do caudal mais elevado (31 de dezembro) deve-se ao facto da ocorrência localizar-se em Braga e a estação hidrométrica encontrar-se próxima da foz do rio, em Vila do Conde (Figura 9.20).

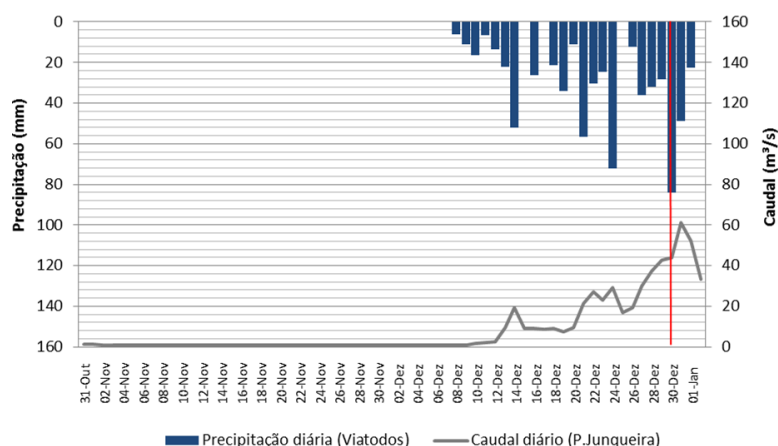


Figura 9.20. Hidrograma de cheia do dia 30 de dezembro de 1981.

### 9.2.3. Causas meteorológicas das cheias

O tipo de circulação atmosférica mais frequente nos dias das ocorrências de cheias na bacia do rio Este é o tipo C (ciclónico), que predomina em 28 das 32 ocorrências. Em 3 ocorrências, a circulação predominante é a AA (anticiclónico dual) e no dia 21 de setembro 1939 é o tipo R (crista). Em duas das três ocorrências, em que predominam o tipo de circulação AA e que têm dados de precipitação, os valores não são muito significativos e por isso os períodos de retorno são baixos. Nestas situações, as possíveis justificações prendem-se com a ocorrência de uma situação de precipitação mais localizada e não abrangendo a estação de Viatodos ou as datas das ocorrências também poderão, eventualmente, estar erradas (Quadro 9.9).

Nos dias cujo limiar de caudal em situação de cheia foi ultrapassado predomina também o tipo de circulação ciclónico (C), em 49% dos dias. Os tipos NW e AA surgem de seguida com 16% e 13% dos dias, respetivamente (Figura 9.21 A). Como já referido anteriormente, o tipo de circulação AA nos dias que ultrapassam o limiar de cheia, podem-se dever-se ao facto de em situações de cheias prolongadas, apesar de se verificar uma melhoria do estado do tempo, o caudal poder persistir ainda elevado.

Quadro 9.9. Tipos de tempo registado nos dias das ocorrências das cheias registadas na bacia do Este.

Data	Ocorrências	WR	Data	Ocorrências	WR
07-12-1876	1	C	16-01-1939	1	C
20-12-1909	1	C	17-01-1939	2	C
22-12-1909	1	C	01-11-1939	1	AA
23-12-1909	2	C	20-01-1941	1	C
25-05-1920	1	AA	14-12-1955	1	C
08-02-1926	1	C	09-12-1959	1	AA
03-01-1931	1	C	31-03-1962	1	C
21-09-1932	1	R	12-02-1966	1	C
11-12-1934	1	C	19-02-1966	1	C
19-11-1935	1	C	06-01-1974	1	C
26-12-1935	1	C	30-12-1981	1	C
19-01-1936	1	C	05-01-2001	2	C
27-01-1937	1	C	25-11-2006	1	C
15-01-1939	1	C	26-10-2011	2	C

Se analisarmos por estações do ano, o tipo C continua a deter uma maior importância no inverno (53% dos dias) e primavera (29%). No entanto, no outono é a circulação do tipo NW que predomina nos dias de ocorrências de cheias (50% dos dias) (Figura 9.21 B).



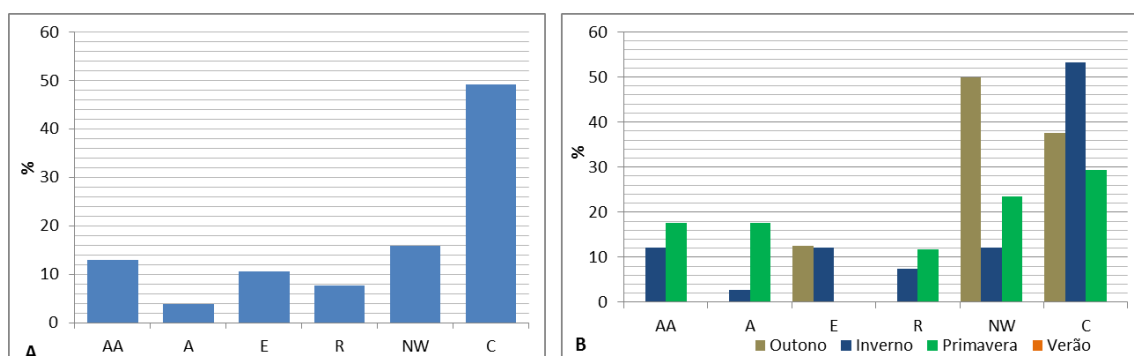


Figura 9.21. Tipos de tempo nos dias com caudal em situação de cheia (A) e tipos de tempo nos dias com caudal em situação de cheia por estações do ano (B) na bacia do rio Este.

### 9.3. Bacia do rio Corgo

#### 9.3.1. Caracterização geral das cheias

Na bacia do rio Corgo, estão registadas na BDC-N, 33 ocorrências de cheias. Do total de ocorrências, apenas uma está classificada como cheia rápida. Quanto à georreferenciação, todas estão georreferenciadas por localização aproximada.

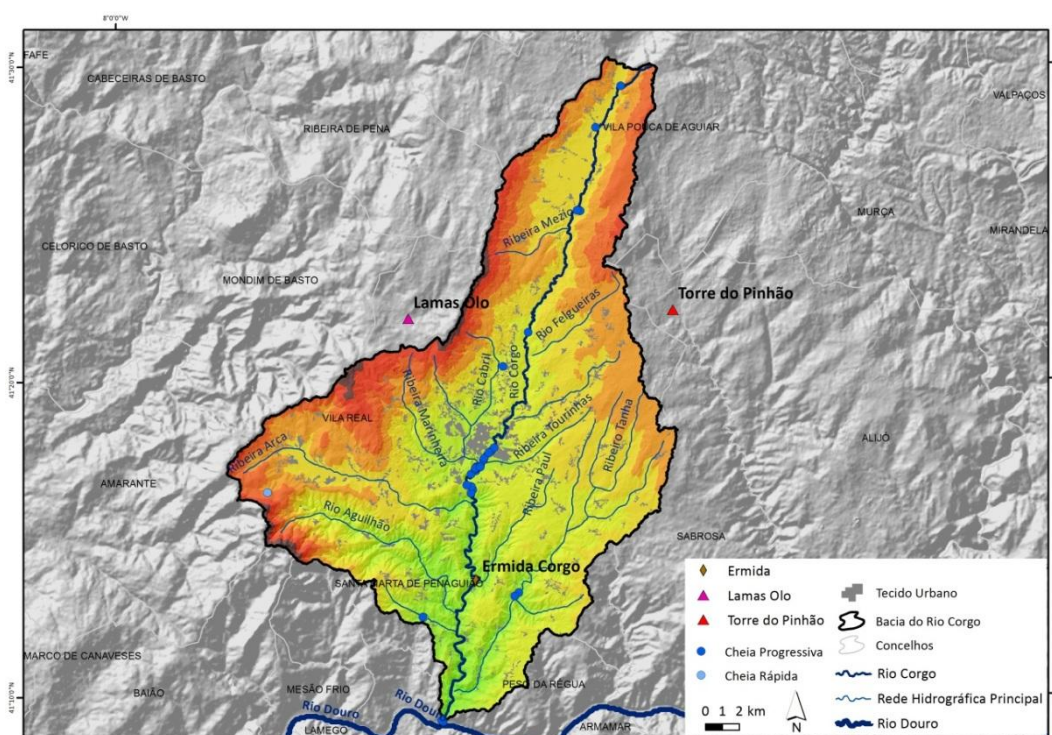


Figura 9.22. Localização das cheias na bacia do rio Corgo.

O rio Corgo passa, sensivelmente a meio do seu curso, pela cidade de Vila Real, onde recebe o rio Cabril (cuja nascente se situa na serra do Alvão). Dezoito ocorrências estão localizadas nessa confluência, uma vez que nas notícias é referido que as cheias afetaram ambos os rios, nas proximidades de Vila Real. Duas ocorrências localizam-se no rio Tanha, na freguesia de Abaças, Vila Real. Mais para o final do percurso do rio Corgo, em Santa Marta de Penaguião, registou-se uma ocorrência e na proximidade da foz, em Peso da Régua assinalaram-se 2 ocorrências (Figura 9.22). A maioria dos anos (17 em 24 anos) em que se sinalizaram cheias, regista apenas uma ocorrência por ano. As exceções são os anos de 1935, 1936, 1939 e 1947 com 2 ocorrências/ano, 1945 com 3 ocorrências /ano e 1948 e 1951 com 4 ocorrências / ano. Os meses de inverno registam quase a totalidade das ocorrências. Em dezembro e fevereiro ocorreram 8 e em janeiro sucederam-se 13 ocorrências. Nos meses de outono, apenas em novembro se registaram duas ocorrências. Março, abril e junho assinalam uma ocorrência cada (Figura 9.23).

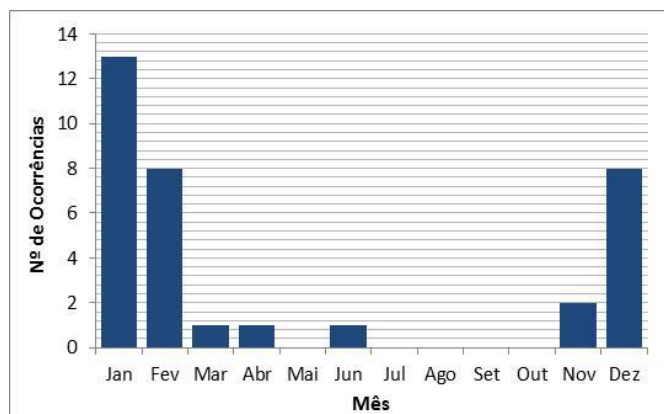


Figura 9.23. Número de ocorrências por mês na bacia do rio Corgo.

Na Figura 9.24 está presente a distribuição mensal dos dias cujo limiar do quíntuplo do módulo do caudal foi atingido, como indicativo da ocorrência de uma cheia. Deste modo, entre 1956/57 a 2005/06, na estação de Ermida ocorreram 648 dias, o que, em média, significam cerca de 13 dias por ano cujo limiar foi ultrapassado.

A distribuição interanual é bastante irregular. Nos anos hidrológicos de 1959/60, 1965/66, 1978/79 e 2000/01 registaram-se mais de 40 dias enquanto nos anos de 1975/76, 1979/80, 1980/81, 1986/87 e 1998/99 não sucedeu nenhum dia em que o limiar de cheia fosse ultrapassado (Quadro 9.10). Quanto à distribuição mensal, os meses de inverno detêm 81% dos dias com caudal de cheia. De seguida, são os meses de primavera com 8% dos dias, com

destaque para o mês de março. Os meses de outono abrangem 11% do total dos dias e no verão não se registou nenhum dia (Figura 9.24).

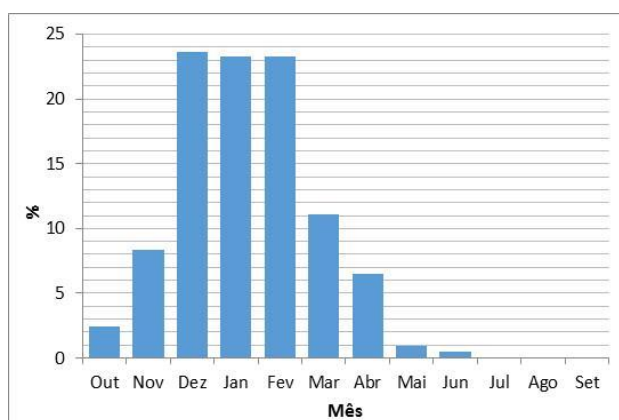


Figura 9.24. Distribuição mensal dos dias com caudal de cheia em Ermida.

No Quadro 9.10 está patente os dias por ano hidrológico que ultrapassaram o limiar de cheia. Cerca de 45% dos dias com caudal de cheia ocorrem isoladamente. De seguida, com 22% surgem os períodos de 2 dias e com 11% os períodos de 3 dias consecutivos. Os períodos com 5, 7, 8, 9 e 10 dias com caudais de cheia ocorrem com menor frequência, em menos de 2% dos dias, cada. Os períodos consecutivos com mais de 10 dias seguidos aconteceram em 2,5% do total dos dias (Figura 9.25).

O valor máximo de caudal diário ocorreu no dia 11 de fevereiro de 1972 com 278 m<sup>3</sup>/s. Neste dia, o caudal máximo ultrapassou 195 vezes o caudal semipermanente do curso de água desse ano hidrológico. Para além deste dia ocorreram mais 10 dias com caudal superior a 150 m<sup>3</sup>/s.

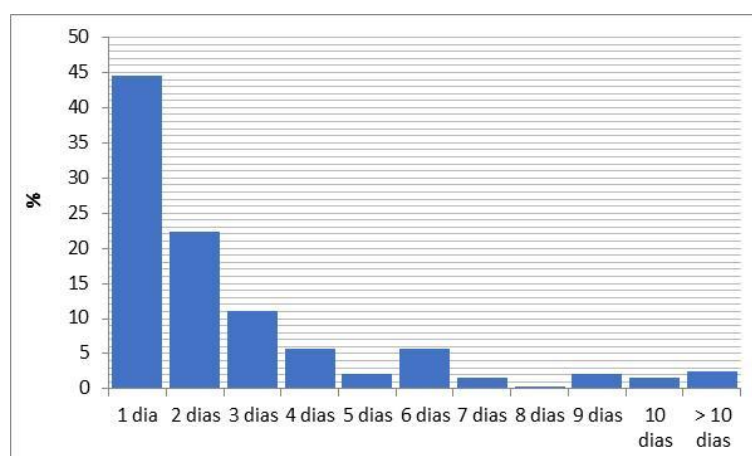


Figura 9.25. Número de dias consecutivos com caudal de cheia em Ermida.

Quadro 9.10. Dias com caudal de cheia entre 1956/57 e 2005/06 em Ermida.

Ano Hidro	Data	Duração	Máximo	Cfc	Ano Hidro	Data	Duração	Máximo	Cfc
56-57	14 a 15 Fev	2	102,0	49,5	65-66	18 a 21 Nov	4	98,7	16,8
	17-Fev	1	42,1	20,4		07-Dez	1	62,1	10,6
	05-Mar	1	92,0	44,7		26 a 28 Dez	3	86,9	14,8
57-58	28-Jan	1	60,4	19,1		12-Jan	1	53,8	9,1
	25 a 27 Mar	2	72,3	22,8		16-Jan	1	47,0	8,0
	3 a 4 Abr	2	61,8	19,5		18 a 26 Jan	9	162,0	27,6
58-59	13-Dez	1	117,0	22,2	66-67	29-Jan	1	47,1	8,0
	15 a 20 Dez	6	115,0	21,8		31-Jan	1	45,7	7,8
	20-Jan	1	50,3	9,5		10 a 28 Fev	19	157,0	26,7
	22-Jan	1	67,5	12,8		9 a 10 Abr	2	64,3	10,9
59-60	15 a 16 Abr	2	71,9	13,6		12 a 14 Abr	3	48,0	8,2
	19 Nov a 1 Dez	4	143,0	27,9	67-68	16 a 17 Abr	2	54,8	9,3
	6 a 11 Dez	6	131,0	25,6		19-Abr	1	48,6	8,3
	22 a 28 Dez	7	141,0	27,5	68-69	05-Nov	1	126,0	30,6
	25 a 27 Jan	3	49,4	9,6		17-Fev	1	93,8	22,8
	05-Fev	1	50,8	9,9		09-Fev	1	67,4	42,0
	16 a 25 Fev	9	127,0	24,8		05-Nov	1	47,9	5,9
	9 a 16 Mar	8	135,0	26,3		08-Nov	1	52,5	6,5
	2 a 3 Abr	2	43,7	8,5		15 a 20 Dez	6	187,0	23,0
60-61	21-Out	1	59,9	11,1		12 a 19 Jan	6	108,0	13,3
	23 a 24 Out	2	55,2	10,3	69-70	28-Jan	1	44,1	5,4
	01-Nov	1	47,6	8,8		18 a 24 Fev	6	78,4	9,6
	04-Nov	1	55,9	10,4		13 a 19 Mar	7	163,0	20,0
	15 a 18 Nov	4	128,0	23,8		22-Mar	1	65,6	8,1
	21 a 23 Nov	3	65,3	12,1		09-Mai	1	49,9	6,1
	07-Dez	1	81,1	15,1	70-71	4 a 5 Jan	2	115,0	30,7
	27 a 28 Dez	2	41,2	7,7		11 a 20 Jan	9	103,0	27,5
	03-Jan	1	79,2	14,7		25-Jan	1	86,2	23,0
61-62	23-Abr	1	42,5	7,9	71-72	19 a 24 Jan	6	71,3	12,8
	28-Abr	1	46,7	8,7		18-Mar	1	77,4	13,9
	05-Dez	1	41,4	10,5		20-Jan	1	43,2	30,3
	9 a 10 Dez	2	72,2	18,3		2 a 6 Fev	5	72,6	50,9
	24 a 25 Dez	2	64,1	16,3	72-73	10 a 13 Fev	5	278,0	195,1
	30 Dez a 3 Jan	4	107,0	27,2		5 a 6 Mar	2	43,2	30,3
62-63	11-Jan	1	42,2	10,7		07-Dez	1	46,0	13,5
	13-Jan	1	58,4	14,8		27-Dez	1	43,0	12,6
	30 Mar a 2 Abr	4	165,0	41,9	73-74	16 a 17 Jan	2	119,0	34,8
	06-Jan	1	50,4	30,4		20 a 21 Jan	2	60,3	17,6
	10-Fev	1	41,3	24,9		6 a 7 Jan	2	88,4	23,8
63-64	15 a 20 Fev	6	140,0	84,3		9 a 10 Jan	2	68,2	18,3
	10 a 12 Mar	3	91,0	54,8		06-Fev	1	49,7	13,4
	09-Abr	1	42,2	25,4		12 a 13 Fev	2	70,7	19,0
	09-Nov	1	45,9	9,1		15 a 16 Fev	2	77,2	20,8
	11-Nov	1	106,0	20,9		27 a 29 Jun	3	106,0	28,5
	13 a 15 Nov	3	96,6	19,1	74-75	12-Fev	1	45,9	18,1
	11-Dez	1	46,5	9,2		04-Mar	1	48,6	19,1
	14-Dez	1	46,1	9,1	76-77	28-Out	1	59,7	7,2
	18 a 19 Dez	2	54,7	10,8		10 a 12 Nov	3	46,0	5,6
	18-Fev	1	42,5	8,4		2 a 4 Dez	3	61,4	7,5
	23 a 24 Fev	2	96,1	19,0		6 a 8 Dez	3	102,0	12,4
	26 a 28 Fev	3	69,8	13,8		13 a 15 Jan	3	216,0	26,2
	12-Mar	1	41,2	8,1		25 a 30 Jan	6	78,3	9,5
	14 a 15 Mar	2	58,0	11,5		2 a 5 Fev	4	86,6	10,5
	20 a 22 Mar	3	53,8	10,6		9 a 14 Fev	5	96,8	11,7
64-65	29-Jan	1	68,0	63,0		19 a 23 Fev	5	131,0	15,9
	12 a 13 Mar	2	80,3	74,4		25-Fev	1	42,5	5,2
	16 a 17 Mar	2	47,3	43,8					

Ano Hidro	Data	Duração	Máximo	Cfc	Ano Hidro	Data	Duração	Máximo	Cfc	Ano Hidro	Data	Duração	Máximo	Cfc
77-78	5 a 8 Dez	4	97,9	14,2	89-90	16 a 18 Dez	3	80,5	63,9	00-01	5 a 6 Nov	2	80,2	13,4
	10 a 11 Dez	2	108,0	15,6		21 a 23 Dez	2	101,0	80,2		1 a 2 Dez	2	109,0	18,2
	21-Dez	1	47,2	6,8		25 a 26 Dez	2	49,3	39,1		5 a 10 Dez	6	255,0	42,6
	28 a 29 Jan	2	147,0	21,3		27-Jan	1	41,2	32,7		28 Dez a 7 Jan	11	226,0	37,8
	15 a 21 Fev	7	175,0	25,3		02-Fev	1	42,7	33,9		24 a 28 Jan	5	244,0	40,8
	23 Fev a 4 Mar	10	150,0	21,7	90-91	07-Jan	1	45,1	14,7		6 a 8 Fev	3	114,0	19,1
79-79	7 a 8 Dez	2	78,8	16,3		09-Fev	1	52,8	17,3		2 a 10 Mar	9	148,0	24,7
	11 a 16 Dez	6	119,0	24,6		28-Fev	1	47,7	15,6		20 a 22 Mar	3	276,0	46,2
	23 a 4 Jan	12	155,0	32,1		06-Mar	1	62,0	20,3		24 a 25 Mar	2	55,9	9,3
	02-Fev	1	49,9	10,3		8 a 9 Mar	2	70,2	22,9	01-02	05-Fev	1	41,5	29,9
	4 a 16 Fev	13	160,0	33,1		12-Mar	1	52,9	17,3	02-03	21 a 23 Nov	3	68,0	11,5
	23 a 28 Mar	6	106,0	21,9	91-92	15-Nov	1	51,1	27,8		29-Nov	1	53,8	9,1
81-82	9 a 12 Abr	4	59,9	12,4	92-93	4 a 7 Dez	4	145,0	46,6		24-Dez	1	42,1	7,1
	13 a 14 Dez	2	53,5	30,1	93-94	09-Out	1	107,0	16,1		26 a 28 Dez	3	187,0	31,7
	21 a 24 Dez	4	137,0	77,0		12 a 14 Out	3	88,8	13,4		30-Dez	1	41,5	7,0
82-83	26 Dez a 1 Jan	7	161,0	90,4		16 a 17 Out	2	52,0	7,8		1 a 9 Jan	9	100,0	16,9
	13-Nov	1	54,3	12,7		06-Nov	1	42,4	6,4	03-04	19 a 22 Jan	4	99,6	16,9
	12 a 13 Dez	2	73,3	17,1	94-95	5 a 12 Jan	10	169,0	25,4		31-Out	1	64,6	16,2
	25-Fev	1	48,7	11,4		20 a 21 Mai	2	60,0	9,0		30-Nov	1	66,1	16,6
	22-Abr	1	60,1	14,0		30 Dez a 1 Jan	3	76,1	21,7	04-05	27-Out	1	52,4	27,3
	24 a 30 Abr	5	66,1	15,4		23 a 24 Jan	2	60,3	17,2	05-06	02-Dez	1	75,1	37,4
83-84	12-Mai	1	44,9	10,5	95-96	14-Fev	1	103,0	29,3		23 a 24 Mar	2	76,8	38,2
	16 a 17 Mai	2	68,3	16,0		24 Dez a 2 Jan	10	289,0	51,9					
	21-Nov	1	41,8	8,5		4 a 15 Jan	12	171,0	30,7					
	18 a 23 Dez	6	156,0	31,6		21-Jan	1	57,6	10,4					
	28-Mar	1	60,5	12,3		23-Jan	1	46,0	8,3					
	30 Mar a 1 Abr	3	75,0	15,2	96-97	28-Jan	1	56,5	10,2					
84-85	19-Out	1	45,8	6,0		41672	1	49,2	8,8					
	15 a 16 Nov	2	80,8	10,5		5 a 7 Fev	3	78,9	14,2					
	18 a 19 Nov	2	92,5	12,1		23-Nov	1	74,3	27,5					
	21 a 22 Nov	2	70,1	9,2	97-98	17 a 18 Dez	2	50,2	18,6					
	24-Nov	1	57,5	7,5		21-Dez	1	42,6	15,8					
	30-Nov	1	53,8	7,0		8 a 9 Jan	2	129,0	47,8					
	03-Dez	1	43,0	5,6		8 a 9 Nov	2	60,2	10,4					
	17 a 19 Jan	3	78,5	10,2		11-Nov	1	113,0	19,5					
	21 a 23 Jan	3	58,7	7,7	99-00	13-Nov	1	122,0	21,0					
	25 a 26 Jan	2	105,0	13,7		18-Nov	1	54,6	9,4					
85-86	8 a 17 Fev	10	143,0	18,7		24 a 25 Nov	2	96,3	16,6					
	25 a 27 Dez	4	75,1	31,0		17 a 22 Dez	6	96,0	16,6					
	1 a 2 Jan	2	69,1	28,6		04-Jan	1	51,3	8,8					
	07-Jan	1	47,2	19,5		13-Jan	1	56,9	9,8					
	16 a 17 Fev	2	96,0	39,7		2 a 3 Abr	2	50,3	8,7					
	21 a 24 Fev	4	71,4	29,5	99-00	05-Abr	1	48,2	8,3					
87-88	26 a 27 Fev	2	53,7	22,2		16-Abr	1	54,9	9,5					
	10-Dez	1	47,0	8,2		22 a 24 Out	3	112,0	30,3					
	06-Jan	1	57,6	10,0		14-Dez	1	102,0	27,6					
	25-Jan	1	43,9	7,6		29-Dez	1	47,8	12,9					
	29-Jan	1	114,0	19,8		14-Abr	1	51,8	14,0					
	30-Jan	1	73,7	12,8	99-00	18 a 20 Abr	3	129,0	34,9					
88-89	01-Fev	1	64,1	11,1		23-Abr	1	92,9	25,1					
	4 a 7 Fev	4	114,0	19,8		25-Abr	1	90,2	24,4					
	25-Fev	1	69,4	43,6										
88-89	27 Fev a 1 Mar	3	50,7	31,9										
	12 a 13 Abr	2	48,7	30,6										

Os dias 15 de fevereiro de 1963 e 30 de dezembro de 1981 apresentam caudais máximos superiores a 84 e 90 vezes, respetivamente, o caudal semipermanente do rio Corgo. A cheia

entre 10 e 28 de fevereiro de 1966 destaca-se pelo período temporal mais longo consecutivo cujo limiar foi atingido (Quadro 9.10). Entre 1956/57 e 2005/06 assinalaram-se 240 períodos em que o limiar de caudal de cheia foi atingido. Na BDC-N estão registadas 7 ocorrências que provocaram algum dano, no período temporal comum com os dados de caudal da estação de Ermida. Todos os dias: 09 de dezembro de 1959, 02 de abril de 1962, 16 de abril de 1963, 17 de dezembro de 1968, 13 de fevereiro de 1979, 09 de janeiro de 1996, 26 de janeiro de 2001, estão enquadrados em períodos consecutivos em que foi atingido o limiar de caudal de cheia. Em termos proporcionais, estes eventos representam 3% do total dos eventos que atingiram o limiar. Quanto à sua magnitude, apenas um destes eventos se encontra nos cinco eventos que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia, com os coeficientes de flutuação de cheia mais elevados.

Os dias com caudal de cheia são por isso relativamente frequentes, apesar de os registos que provocaram qualquer tipo de dano não o sejam. A bacia tem um relevo acentuado, com um declive médio de 14º e uma altitude média de cerca de 600 m, desenvolvendo-se o rio Corgo num vale encaixado. A área urbana representa apenas 4% da bacia hidrográfica, da qual se destaca a cidade de Vila Real, onde se registam grande parte das ocorrências. Deste modo, o número de ocorrências presentes na base é bastante inferior aos dias cujo limiar de cheia foi atingido.

### 9.3.2. Precipitação antecedente e caudal máximo de cheia

Do total de ocorrências na bacia do Corgo, 33 têm dados de precipitação diária. No Quadro 9.11 e no Quadro 9.12 podemos observar os valores de precipitação antecedente e os respetivos períodos de retorno para cada ocorrência. Como já verificamos na análise os dados das bacias do Vez e Este, o comportamento da precipitação antecedente é bastante variável.

Algumas ocorrências, como as dos dias 11 de dezembro de 1934, 28 de fevereiro de 1935, 24 de janeiro de 1937, 16 de janeiro de 1939 e 12 de janeiro de 1943, destacam-se pelos valores elevados de precipitação diária no dia da ocorrência, o que resulta em intensidades de precipitação diária superiores a 4 mm médios horários. Por outro lado, encontramos ocorrências, cuja precipitação acumulada em 90 dias apresenta valores muito elevados, superiores a 1700 mm, próximos das médias anuais das estações localizadas nesta área.

Estas ocorrências (29 de janeiro de 1936, 19 de fevereiro de 1936, 13 de fevereiro de 1979 e 26 de janeiro de 2001) registaram-se em anos hidrológicos muito chuvosos, o que conduz à

saturação dos solos e maiores valores de escoamento superficial. Os períodos de retorno são por isso, mais elevados para a precipitação acumulada entre 75 e 90 dias. Aliás, no dia 13 de fevereiro de 1979, o período de retorno para a precipitação acumulada em 75 dias é de 73 anos (Quadro 9.12).

*Quadro 9.11. Precipitação acumulada e intensidade diária (mm/h) das ocorrências com dados de precipitação diária na bacia do rio Corgo.*

Data	Ocorrências	Estação Meteorológica mais próxima	Intensidade Diária (mm/h)	Precipitação Acumulada											
				1 dia	2 dias	3 dias	4 dias	5 dias	10 dias	15 dias	30 dias	40 dias	60 dias	75 dias	90 dias
11-12-1934	1	Lamas de Alvadia	5,1	122	161	263	267	267	376	376	438	513	524		
28-02-1935	1	Lamas de Alvadia	5,0	120	254	267	310	324	362	362	362	362	362	653	1311
27-12-1935	1	Lamas de Alvadia	4,2	100	194	295	359	363	578	578	801	947	1120	1197	
29-01-1936	1	Lamas de Alvadia	4,5	108	118	118	118	126	297	388	613	1145	1358	1594	1767
19-02-1936	1	Lamas de Alvadia	2,4	58	84	112	132	135	186	254	585	754	1469	1592	1832
24-01-1937	1	Lamas de Alvadia	6,0	144	186	223	243	243	281	281	285	295	355	420	461
21-11-1938	1	Lamas de Alvadia	3,5	84	84	84	84	84	97	153	177	177			
16-01-1939	1	Lamas de Alvadia	5,3	126	159	185	207	214	218	218	224	257	478	547	571
06-06-1939	1	Amarante	0,5	11	11	13	22	28	28	28	30	75	123	240	245
05-01-1940	1	Lamas de Alvadia	1,4	35	55	97	123	131	138	215	345	353	439	691	912
12-01-1943	1	Lamas de Alvadia	4,3	104	179	217	243	251	264	270	466	483	495	605	739
19-12-1945	2	Lamas de Alvadia	2,9	70	120	140	140	140	140	140	222	434	596	637	
26-12-1945	1	Lamas de Alvadia	2,7	65	110	190	280	315	534	554	636	662	899	1051	
05-02-1947	1	Lamas de Olo	1,7	40	74	98	165	177	188	200	368	416	579	879	1046
22-02-1947	1	Lamas de Olo	2,1	50	80	110	110	123	321	412	621	687	865	968	1307
28-01-1948	1	Lamas de Olo	1,7	40	70	105	116	124	317	337	705	776	940	1045	1118
29-01-1948	2	Lamas de Olo	5,0	120	160	190	225	236	414	456	760	896	1056	1165	1183
12-12-1948	1	Lamas de Olo	3,4	81	121	176	176	176	184	184	184	273	323		
07-01-1951	1	Lamas de Olo	1,4	34	42	60	60	60	114	124	353	378	800	809	825
28-01-1951	1	Lamas de Olo	1,9	46	65	65	70	81	89	193	382	486	646	972	1070
05-02-1951	1	Lamas de Olo	3,1	75	132	144	144	144	209	233	454	527	766	962	1212
22-02-1951	1	Lamas de Olo	3,8	90	167	242	323	398	514	712	980	1103	1291	1512	1698
19-01-1955	1	Lamas de Olo	1,6	38	71	103	128	149	303	374	377	402	589	609	658
29-03-1956	1	Lamas de Olo	0,5	12	19	30	40	56	179	213	213	249	267	305	367
09-12-1959	1	Lamas de Olo	1,3	31	56	78	111	130	253	300	495	497	631		
01-04-1962	1	S.M.Montanha	5,1	123	234	290	315	329	332	343	490	532	538	556	762
16-02-1963	1	Lamas de Olo	7,5	181	291	381	381	411	771	809	855	1138	1834	1840	1861
17-12-1968	1	Lamas de Olo	2,5	60	126	196	227	237	247	247	284	357	720	738	
13-02-1979	1	Lamas de Alvadia	2,7	65	100	166	211	244	617	721	847	943	1562	2064	2066
09-01-1996	1	Lamas de Olo	0,6	14	50	82	152	233	376	578	936	942	1327	1376	1453
26-01-2001	1	S.M.Montanha	2,5	59	80	126	216	253	373	387	788	967	1436	1604	1831

De realçar também a ocorrência do dia 16 de fevereiro de 1963, que se destaca pela precipitação diária elevada mas também pelos valores acumulados elevados em 90 dias. Os períodos de retorno são elevados, para as diferentes durações, sendo por exemplo para a precipitação acumulada em 2 dias de 105 anos e para a precipitação acumulada em 10 dias de 57 anos (Quadro 9.12). Por fim, as ocorrências de 6 de junho de 1939 e 29 de março de 1956 registam valores de precipitação e de períodos de retorno para as diferentes durações, relativamente baixos. Estas situações justificam-se pela ocorrência de células convectivas muito localizadas e as estações meteorológicas não são abrangidas ou as datas retiradas dos jornais estão erradas.



Dos 31 eventos de cheia, um está classificado como cheia rápida e os restantes como cheias progressivas. A análise às combinações críticas de quantidade/duração permitem concluir que esta classificação com base nas notícias apresenta alguns erros. Assim, a cheia que está classificada como rápida, não apresenta valores de precipitação que o justifiquem e três das cheias caracterizadas como cheias progressivas, são na verdade, cheias rápidas (Quadro 9.11 e Quadro 9.12).

Quadro 9.12. Período de retorno (em anos) para a precipitação acumulada das ocorrências de cheias na bacia do rio Corgo.

Data	Ocorrências	Precipitação Acumulada												
		1 dia	2 dias	3 dias	4 dias	5 dias	10 dias	15 dias	30 dias	40 dias	60 dias	75 dias	90 dias	
11-12-1934	1	4,0	2,8	7,9	4,3	2,8	2,6	1,7	1,4	1,4	1,1			
28-02-1935	1	3,8	19,4	8,5	8,2	5,4	2,3	1,6	1,2	1,1	1,0	1,2	4,2	
27-12-1935	1	2,3	5,3	14,0	17,5	8,8	13,0	5,5	6,0	6,4	5,8	4,3		
29-01-1936	1	2,7	1,4	1,1	1,1	1,0	1,6	1,8	2,5	15,1	14,2	15,2	15,9	
19-02-1936	1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	2,2	2,9	21,9	15,1	19,4	
24-01-1937	1	7,5	4,5	4,0	3,1	2,1	1,5	1,2	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	
21-11-1938	1	1,6	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0				
16-01-1939	1	4,5	2,6	2,2	2,0	1,7	1,2	1,1	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	
06-06-1939	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	
05-01-1940	1	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,7	
12-01-1943	1	2,5	3,8	3,6	3,1	2,3	1,4	1,2	1,5	1,3	1,1	1,2	1,3	
19-12-1945	2	1,3	1,5	1,3	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,2	1,3	1,2		
26-12-1945	1	1,2	1,3	2,4	5,2	4,8	8,9	4,7	2,8	2,1	2,7	2,9		
05-02-1947	1	1,2	1,3	1,4	2,0	1,9	1,4	1,3	1,6	1,5	1,7	2,4	2,8	
22-02-1947	1	1,4	1,4	1,5	1,3	1,3	2,6	2,8	3,2	2,8	2,8	2,8	4,4	
28-01-1948	1	1,2	1,3	1,5	1,4	1,3	2,6	2,0	4,2	3,6	3,3	3,3	3,1	
29-01-1948	2	10,9	5,6	4,1	3,8	3,0	4,6	3,4	5,1	5,1	4,1	4,1	3,5	
12-12-1948	1	1,2	1,3	1,4	2,0	1,9	1,4	1,3	1,6	1,5	1,7			
07-01-1951	1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,5	1,4	2,5	2,2	2,0	
28-01-1951	1	1,3	1,2	1,1	1,1	1,1	1,1	1,3	1,6	1,8	1,9	2,9	2,9	
05-02-1951	1	2,6	3,3	2,2	1,7	1,5	1,5	1,4	1,9	1,9	2,3	2,8	3,7	
22-02-1951	1	4,1	6,5	8,9	12,2	15,8	9,1	12,8	11,2	9,4	6,9	8,3	9,3	
19-01-1955	1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,5	2,4	2,4	1,6	1,5	1,7	1,6	1,6	
29-03-1956	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,4	1,3	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	
09-12-1959	1	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,8	1,8	2,2	1,8	1,9			
01-04-1962	1	14,0	30,0	24,8	15,6	9,5	2,5	1,7	1,9	1,7	1,3	1,2	1,5	
16-02-1963	1	95,9	104,5	83,4	25,9	18,3	56,9	21,8	7,1	10,5	24,1	16,7	12,9	
17-12-1968	1	1,8	2,9	4,4	3,9	3,0	1,8	1,5	1,3	1,4	2,2	1,9		
13-02-1979	1	1,2	1,2	1,7	2,1	2,2	18,1	14,8	7,5	6,2	31,6	73,0	39,5	
09-01-1996	1	1,0	1,1	1,2	1,8	2,9	3,7	6,3	9,5	5,8	7,5	6,2	5,8	
26-01-2001	1	1,1	1,1	1,3	2,9	3,2	3,7	2,3	10,3	13,2	36,1	31,5	36,5	

Os valores dos períodos de retorno da precipitação acumulada nos dias que ultrapassaram o limiar que define uma situação de cheia são mais elevados para durações maiores: nomeadamente em 60, 75 e 90 dias (42% dos dias). De assinalar também os períodos de

retorno mais elevados para 1 dia, em 6% dos dias e para 30 dias, em 12% dos dias que ultrapassaram o limiar (Figura 9.26). Estes resultados confirmam a importância da precipitação acumulada em situações de cheias na bacia do Corgo.

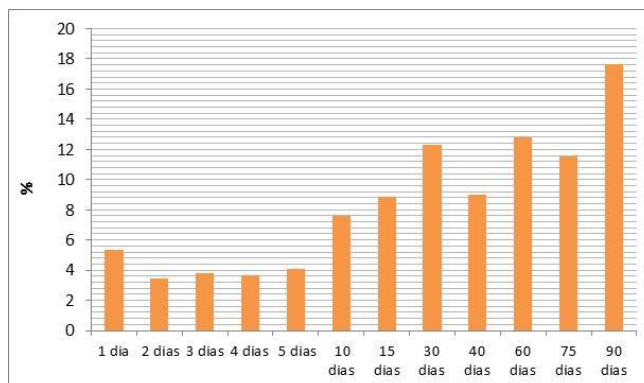


Figura 9.26. Durações críticas dos dias com caudal superior ao limiar de situação de cheia em Ermida.

De seguida, analisaremos as cheias, que é possível comparar os valores de precipitação diária antecedente com o caudal médio diário.

### **Cheia de 9 de dezembro de 1959**

A cheia de 9 de dezembro de 1959 provocou a inundação de várias residências e a demolição de muros de vedação de prédios rústicos.

Na notícia é referido um “temporal, chovendo torrencialmente há dias” (Jornal de Notícias, 10-11-1959). E como podemos verificar na Figura 9.27 (a linha vermelha vertical indica a ocorrência da cheia), desde o final do mês de novembro que ocorreu precipitação quase todos os dias na estação de Lamas de Olo.

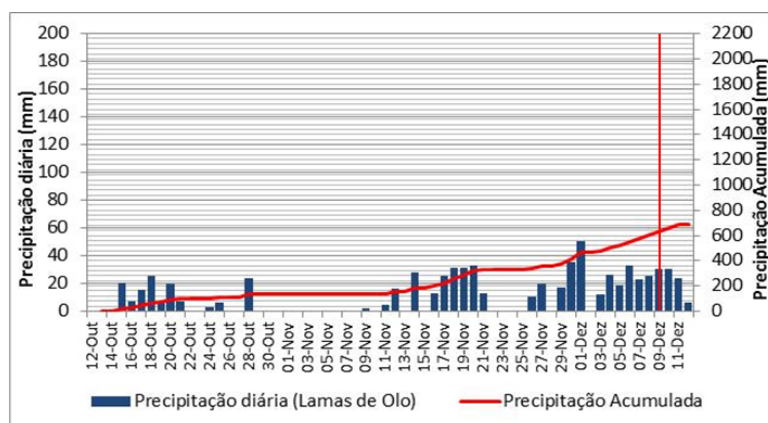


Figura 9.27. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 12 de outubro e 12 de dezembro de 1959.

A precipitação acumulada nos dias anteriores à cheia levou a um aumento gradual do caudal, sendo no dia 9 de dezembro de 131 m<sup>3</sup>/s. De assinalar o facto de estarmos perante uma cheia com mais do que uma ponta de cheia, registando-se também pontas de cheia nos dias 20 e 30 de novembro com 105 e 143 m<sup>3</sup>/s, respetivamente. Estes valores acompanham os registos de precipitação continua nos dias anteriores (Figura 9.28).

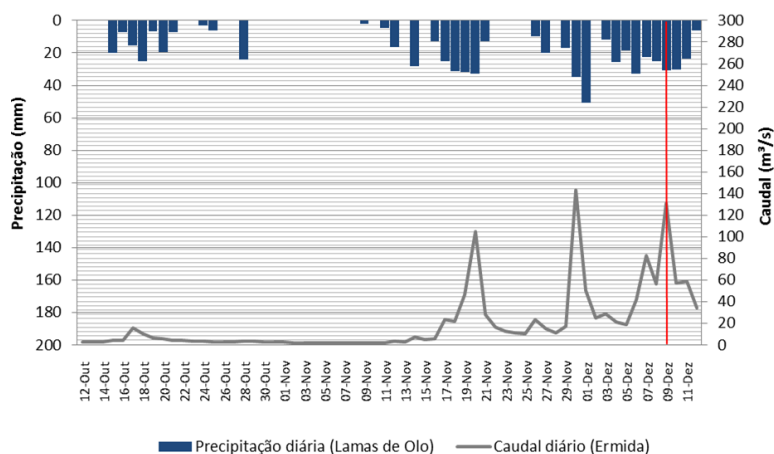


Figura 9.28. Hidrograma de cheia do dia 9 de dezembro de 1959.

### Cheia de 1 de abril de 1962

A cheia de 1 de abril de 1962 está caracterizada na notícia por “quatro dias de chuva incessante” que provocaram o corte da circulação ferroviária da linha do Corgo e a inundação da ponte de ligação ao apeadeiro de Tourencinho. Como podemos verificar na Figura 9.29 (a linha vermelha vertical indica a ocorrência da cheia), a partir do dia 28 de março começa um período chuvoso, acumulando nos 5 dias, 329 mm de precipitação.

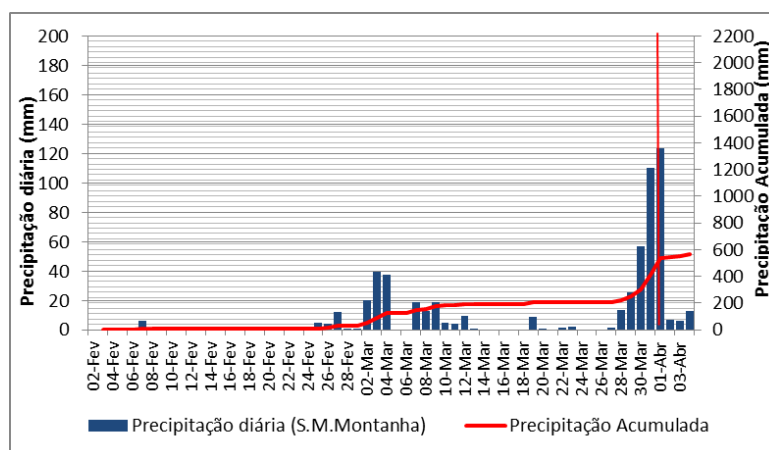


Figura 9.29. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 2 de fevereiro e 4 de abril de 1962.

Os valores mais elevados de precipitação registaram-se nos dias 31 de março e 1 de abril com 110 e 123 mm, respetivamente. O período de retorno do valor acumulado da precipitação para estes dois dias é de 30 anos. Os valores do caudal sobem repentinamente nestes dois dias em que a precipitação foi intensa. Assim, no dia 29 de março o caudal foi de 9,2 m<sup>3</sup>/s, começando a aumentar no dia 30, com 57 m<sup>3</sup>/s. Nos dias 31 de março e 1 de abril, o caudal médio diário foi de 165 e 125 m<sup>3</sup>/s, respetivamente (Figura 9.30).

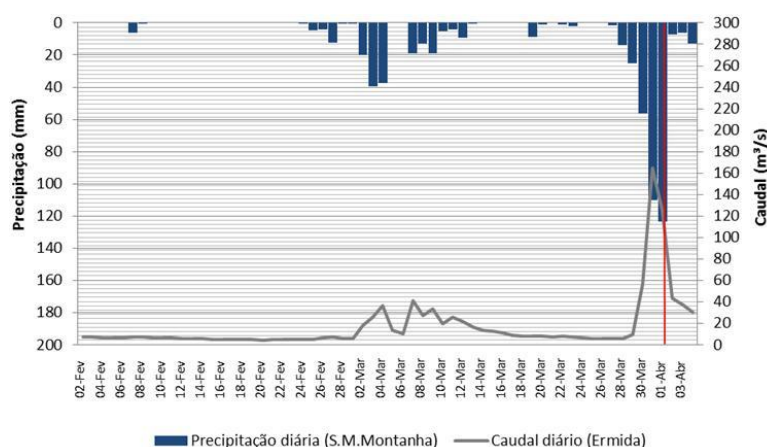


Figura 9.30. Hidrograma de cheia do dia 2 de abril de 1962.

### **Cheia de 16 de fevereiro de 1963**

A cheia de 16 de fevereiro de 1963 provocou também a interrupção do acesso ao apeadeiro ferroviário de Tourencinho (ponte submersa). Esta cheia caracteriza-se pela precipitação intensa nos dois dias anteriores à ocorrência, mas também por valores elevados de precipitação acumulada nos dois meses anteriores.

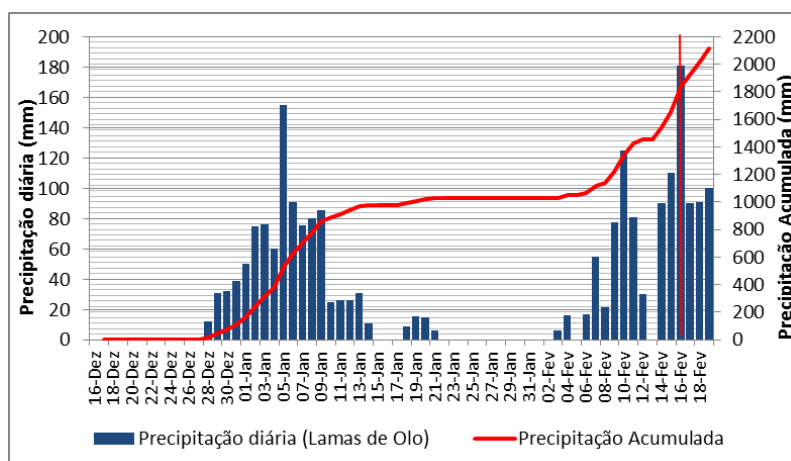


Figura 9.31. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 16 de dezembro de 1962 e 16 de fevereiro de 1963.

Assim a precipitação acumulada desde o dia 16 de dezembro até 17 de fevereiro é de 1924 mm (Figura 9.31: a linha vermelha vertical indica a ocorrência da cheia). No dia da ocorrência registou-se 180 mm e no dia anterior 110 mm de precipitação. O período de retorno para a acumulada desde dois dias é de 105 anos. Os valores de caudal registaram uma ponta de cheia no dia 15 de fevereiro, com 140 m<sup>3</sup>/s. No dia da ocorrência o caudal já estava mais baixo, com 94 m<sup>3</sup>/s (Figura 9.32).

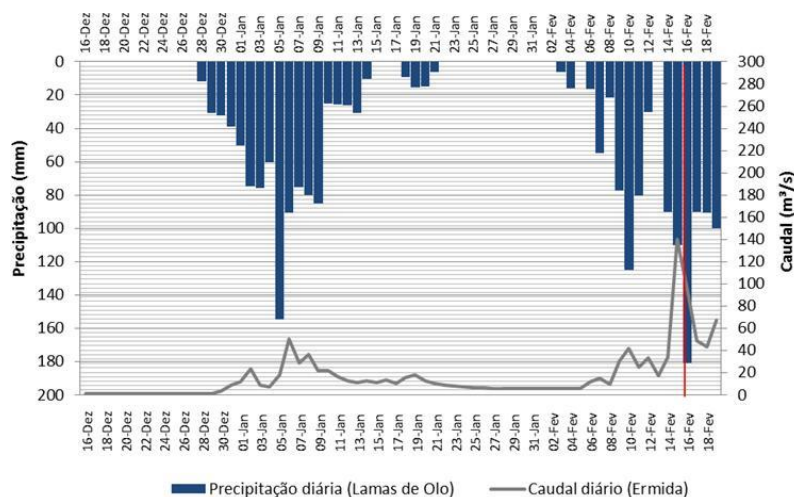


Figura 9.32. Hidrograma de cheia do dia 16 de fevereiro de 1963.

### Cheia de 17 de dezembro de 1968

A ocorrência do dia 17 de dezembro de 1968 alagou por completo os campos agrícolas marginais aos rios Corgo e Cabril. A notícia refere um “temporal desabrido há dias” (Jornal de Notícias, 18-12-1968). De facto podemos constatar que a partir do dia 13 de dezembro ocorre precipitação com o valor mais elevado a registar-se no dia 15 de dezembro, com 70 mm.

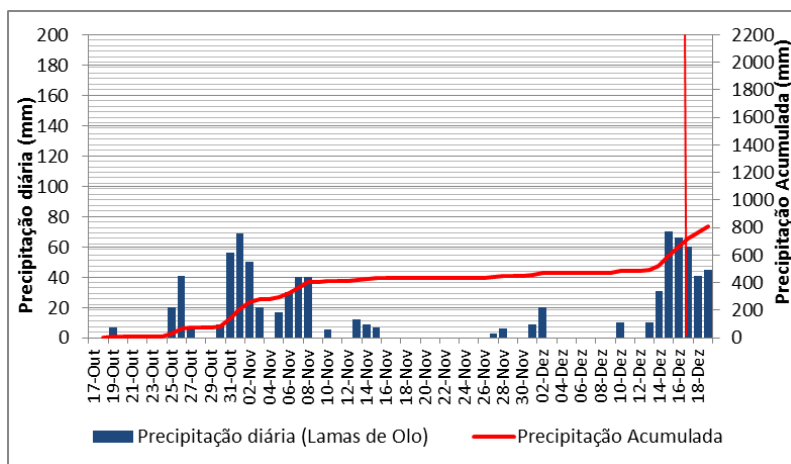


Figura 9.33. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 17 de outubro e 19 de dezembro de 1968.

Os valores acumulados não são tão elevados, como já verificamos nas ocorrências anteriores, atingindo os 720 mm, nos dois meses anteriores (Figura 9.33: a linha vermelha vertical indica a ocorrência da cheia). O período de retorno mais elevado assinala-se na precipitação acumulada de 3 dias, com 4 anos de recorrência. Quando os valores de precipitação começam a aumentar, no dia 14 de dezembro, o caudal médio também sobe, atingido uma ponta de cheia no dia da ocorrência, com 187 m<sup>3</sup>/s. A partir desse dia, o caudal começa a descer (Figura 9.34).

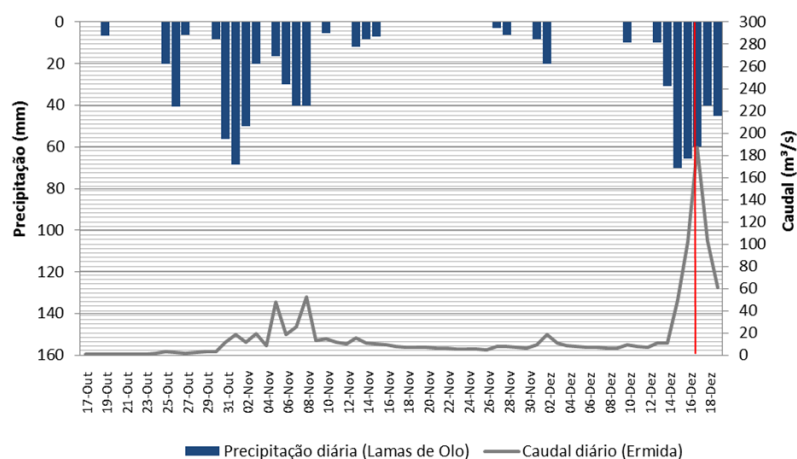


Figura 9.34. Hidrograma de cheia do dia 17 de dezembro de 1968.

### Cheia de 13 de fevereiro de 1979

A ocorrência do dia 13 de fevereiro de 1979 regista-se num dos anos hidrológicos mais chuvosos da região Norte. A cheia cortou a circulação na estrada N2. A partir do dia 1 de Fevereiro, ocorre precipitação todos os dias, acumulando 710 mm nos 13 dias seguintes. Desde o dia 13 de dezembro o valor acumulado foi de 1634 mm (Figura 9.35: a linha vermelha vertical indica a ocorrência da cheia).

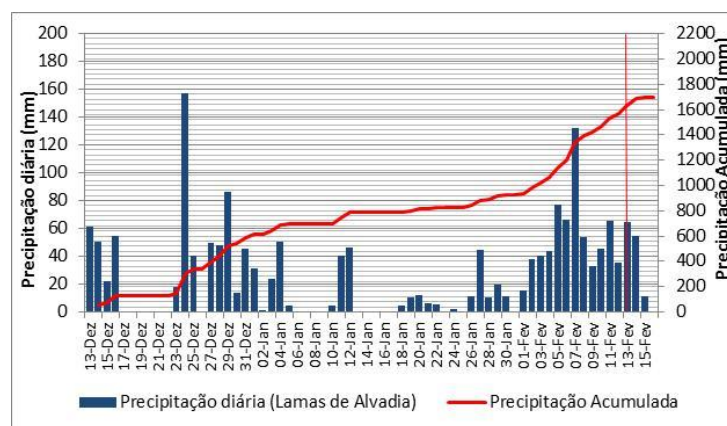


Figura 9.35. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 13 de dezembro de 1978 e 16 de fevereiro de 1979.

No dia da ocorrência a precipitação registrada foi de 65 mm. O período de retorno mais elevado sucede então para a acumulação da precipitação dos 75 dias, com 73 anos de recorrência. A importância da precipitação acumulada é comprovada pela análise da Figura 9.36. O caudal atinge várias pontas de cheias, nomeadamente nos dias 4, 7, 10 e no dia 13, dia da ocorrência. Os valores do caudal nestes dias situam-se os 130 e os 160 m<sup>3</sup>/s. No dia seguinte, o valor do caudal continua elevado (152 m<sup>3</sup>/s), começando a diminuir a partir do 15 de fevereiro (Figura 9.36).

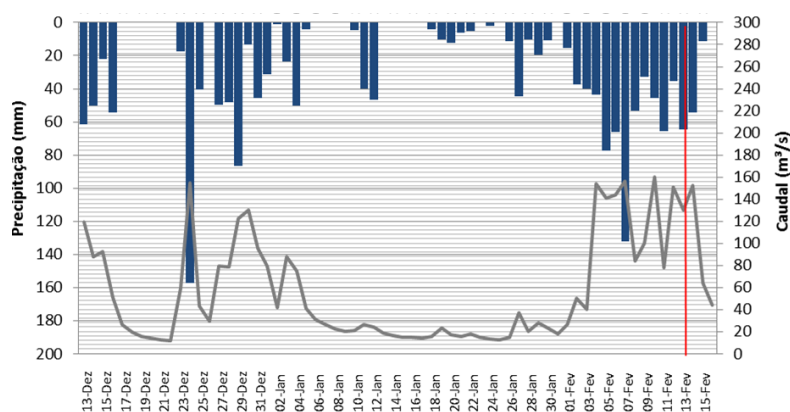


Figura 9.36. Hidrograma de cheia do dia 13 de fevereiro de 1979.

### Cheia de 9 de janeiro de 1996

A ocorrência de 9 de janeiro de 1996 surge na sequência de 21 dias de precipitação consecutiva (Figura 9.37: a linha vermelha vertical indica a ocorrência da cheia). Esta cheia provocou a inundação de vários edifícios, obrigando à evacuação de algumas pessoas.

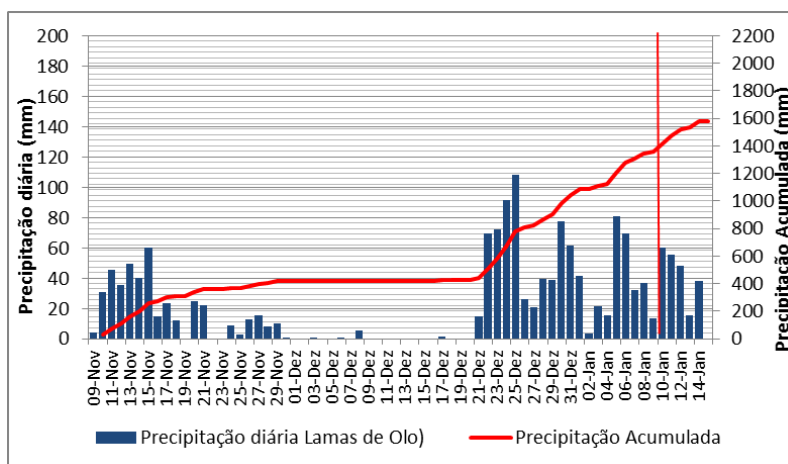


Figura 9.37. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 9 de novembro de 1995 e 15 de janeiro de 1996.



A precipitação acumulada nestes 21 dias foi de 986 mm, sendo o período de retorno para a precipitação acumulada de 30 dias, de 9 anos. Os valores de caudal registam valores relativamente elevados neste período antecedente com vários picos, como no dia 25 de dezembro, com 289 m<sup>3</sup>/s. No dia 9 de janeiro o valor do caudal foi de 86 m<sup>3</sup>/s e no dia anterior de 160 m<sup>3</sup>/s (Figura 9.38).

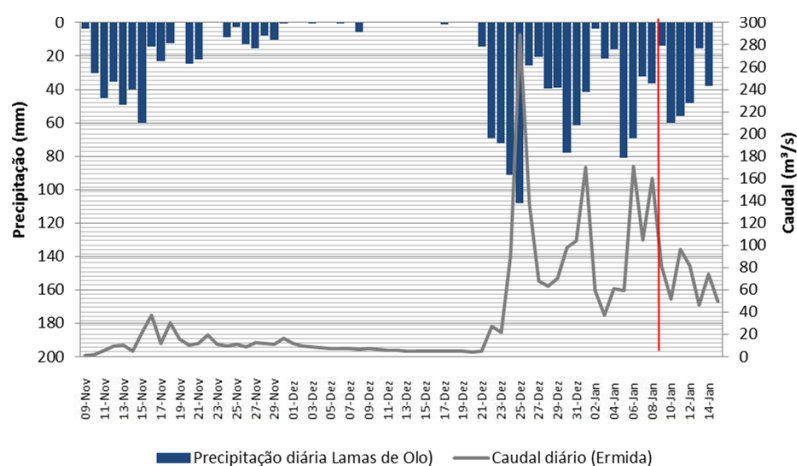


Figura 9.38. Hidrograma de cheia do dia 9 de janeiro de 1996.

### **Cheia de 26 de janeiro de 2001**

O ano hidrológico de 2000/2001 ficou marcado pelo registo de valores excepcionais de precipitação. Esta cheia provocou na bacia do Corgo, a inundação de diversos estabelecimentos e garagens, arrastando recheios de lojas levados pela corrente e automóveis submersos.

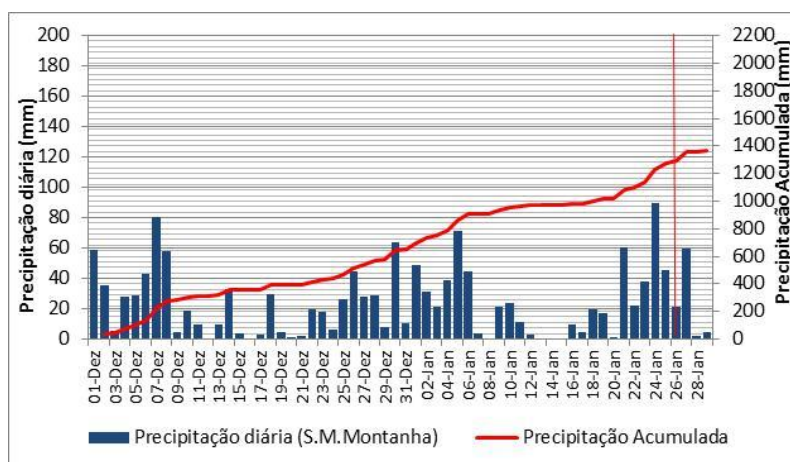


Figura 9.39. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 1 de dezembro de 2000 e 29 de janeiro de 2001.

Quase todos os dias desde o dia 1 de dezembro registaram precipitação diária (Figura 9.39: a linha vermelha vertical indica a ocorrência da cheia). Os valores acumulados rondam os 1360 mm. Deste modo, o período de retorno para a precipitação acumulada nos 90 dias anteriores à ocorrência foi de 37 anos. A precipitação consecutiva leva a que os valores de caudal sejam mais elevados que o módulo mensal dos meses de dezembro e janeiro (16 e 17 m<sup>3</sup>/s). Desde o dia 1 de dezembro que constatamos 3 pontas de cheia. Foram eles nos dias 7 de dezembro de 2000, 5 e 26 de janeiro de 2001, com valores superiores a 226 m<sup>3</sup>/s (Figura 9.40). Estes valores são dos valores mais elevados registados na série de Ermida entre 1956/57 a 2005/2006.

Esta ocorrência deve-se então à precipitação consecutiva e acumulada nos três meses anteriores e que por sua vez, justifica os valores de caudal médios diários mais elevados e com a saturação dos solos e aumento do escoamento superficial, o registo de chuvadas mais intensas, leva ao transbordo dos rios na bacia em estudo.

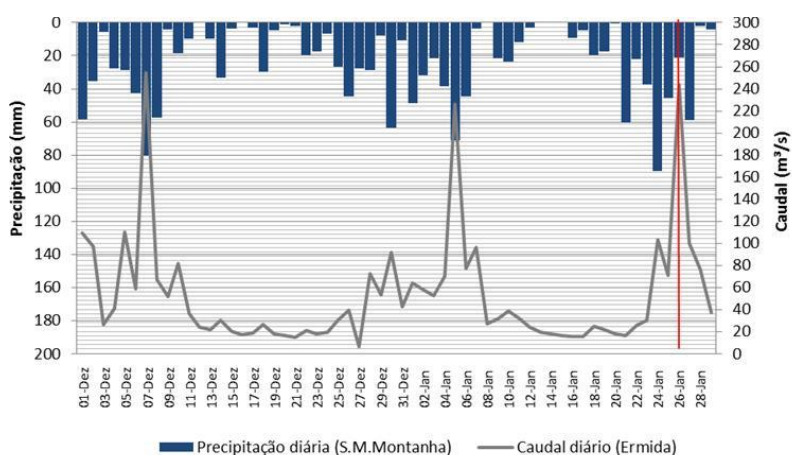


Figura 9.40. Hidrograma de cheia do dia 26 de janeiro de 2001.

### 9.3.3. Causas meteorológicas das cheias

O tipo de circulação dominante nos dias das ocorrências de cheias na bacia hidrográfica do Corgo é em 25 das 33 ocorrências o tipo C (Ciclónico) (Quadro 9.13). Noutras cinco ocorrências a circulação predominante é a de NW (Noroeste). Duas ocorrências estão relacionadas com o tipo de circulação anticiclónica (AA) (Quadro 9.13). Nos dias cujo limiar de caudal em situação de cheia foi ultrapassado predomina também o tipo de circulação ciclónico (C), em 61% dos dias. De seguida destaca-se o tipo AA (13% dos dias) (Figura 9.41 A).

Quadro 9.13. Tipos de tempo registado nos dias das ocorrências das cheias registadas na bacia do rio Corgo.

Data	Ocorrências	WR	Data	Ocorrências	WR
27-12-1909	1	NW	22-02-1947	1	R
30-11-1929	1	C	28-01-1948	1	C
01-02-1930	1	C	29-01-1948	2	C
11-12-1934	1	C	12-12-1948	1	C
28-02-1935	1	C	07-01-1951	1	NW
27-12-1935	1	C	28-01-1951	1	R
29-01-1936	1	C	05-02-1951	1	C
19-02-1936	1	C	22-02-1951	1	NW
24-01-1937	1	C	19-01-1955	1	C
21-11-1938	1	C	29-03-1956	1	E
16-01-1939	1	C	09-12-1959	1	C
06-06-1939	1	C	01-04-1962	1	NW
05-01-1940	1	AA	16-02-1963	1	C
12-01-1943	1	C	17-12-1968	1	C
19-12-1945	2	C	13-02-1979	1	C
26-12-1945	1	AA	09-01-1996	1	C
05-02-1947	1	E	26-01-2001	1	NW

Como já dito anteriormente, estes resultados podem dever-se ao facto de em situações de cheias prolongadas, o caudal continuar elevado, apesar de se verificar uma melhoria do estado do tempo. Se analisarmos por estações do ano, o tipo C domina em todas as estações, em que ocorreram dias que atingiram o limiar de cheia (Figura 9.13. B).

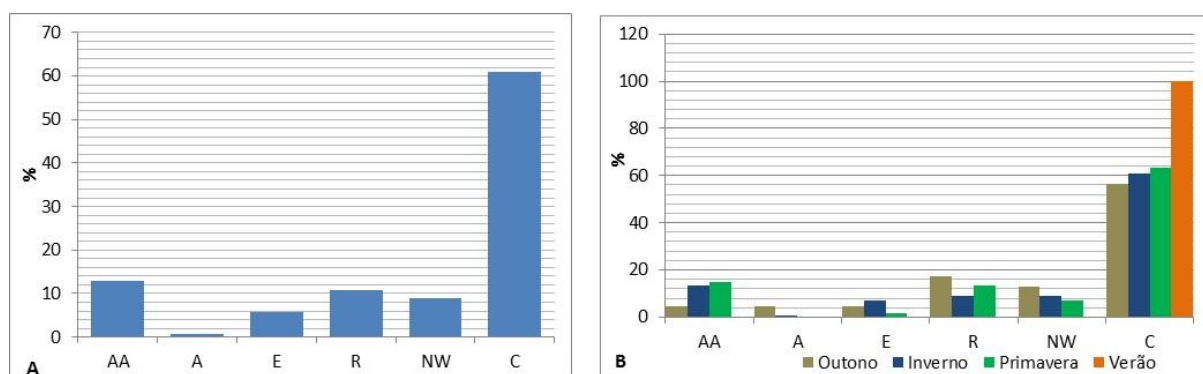


Figura 9.41. Tipos de tempo nos dias com caudal em situação de cheia (A) e tipos de tempo nos dias com caudal em situação de cheia por estações do ano (B) na bacia do rio Corgo.

## 9.4. Bacia do rio Távora

### 9.4.1. Caracterização geral das cheias

Na bacia do rio Távora, entre 1865 e 2011 estão registadas na BDC-N 8 ocorrências, que correspondem a 5 eventos de cheias. Apenas uma está classificada como cheia rápida e as restantes como cheias progressivas. Todas as ocorrências estão georreferenciadas de forma aproximada com base em descrições e morfologia. Três ocorrências localizam-se na freguesia de Riodades, em São João de Pesqueira, e duas na ribeira de Ferreirim, afluente do rio Távora. As restantes encontram-se ao longo do rio Távora: uma no concelho de Tabuaço, outra no concelho de Sernancelhe e ainda outra em Moimenta da Beira (Figura 9.42).

Todas as ocorrências registadas sucederam antes da construção da barragem do Vilar em 1965. Assim, em 1963 assinalaram-se 4 ocorrências e os anos de 1912, 1936, 1944 e 1945 registaram 1 ocorrência em cada ano. Quanto à distribuição mensal, o mês de novembro destaca-se com 4 ocorrências e os meses de dezembro, janeiro, fevereiro e agosto assinalaram uma ocorrência cada.

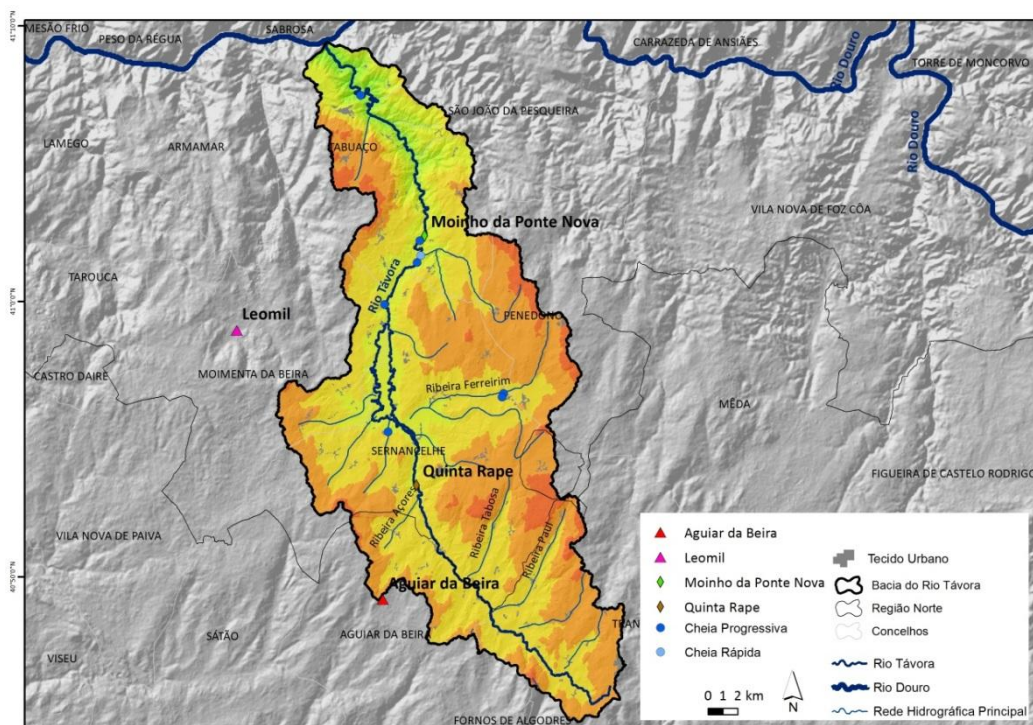


Figura 9.42. Localização das cheias na bacia do rio Távora.

A análise aos dias cujo limiar do quádruplo do módulo do caudal foi atingido, como indicativo da ocorrência de uma cheia, tem por base duas estações hidrométricas: Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova, entre 1976/77 a 2005/06. Convém recapitular que entre as estações encontra-se a Barragem do Vilar. A estação de Moinho da Ponte Nova fica a cerca de 11 km a jusante da barragem e a estação de Quinta Rape fica a cerca de 3 km a montante da barragem. A localização das estações face à barragem do Vilar é importante para compreender os resultados aqui apresentados.

Deste modo, a estação de Quinta Rape registou 455 dias, ou seja, 13 dias em média nos 30 anos da série, enquanto em Moinho da Ponte Nova ocorreram 236 dias ou 7 dias por ano, cujo limiar de caudal de cheia foi ultrapassado. A análise anual mostra uma irregularidade nas duas estações com anos sem ocorrências e outros anos com mais de 45 dias (anos hidrológicos de 1978/79 e 2000/2001 (Figura 9.43). Na maioria dos anos, como seria de esperar, o número de dias que ultrapassaram o limiar é superior na estação de Quinta Rape. Apenas nos anos hidrológicos de 1978/79 e 2000/2001, o número de dias que ultrapassou o limiar de cheia é superior na estação do Moinho da Ponte Nova. Podemos confirmar assim, como referido por Ramos e Reis (2001) para a bacia do Tejo, que a barragem do Vilar diminuiu a frequência das cheias, no entanto, em situações particularmente chuvosas, contribuiu para aumentar os caudais de ponta. Os dias comuns, ou seja, em que o limiar de cheia foi atingido nas duas estações, correspondem a cerca de 70% do total dos dias (Figura 9.43).

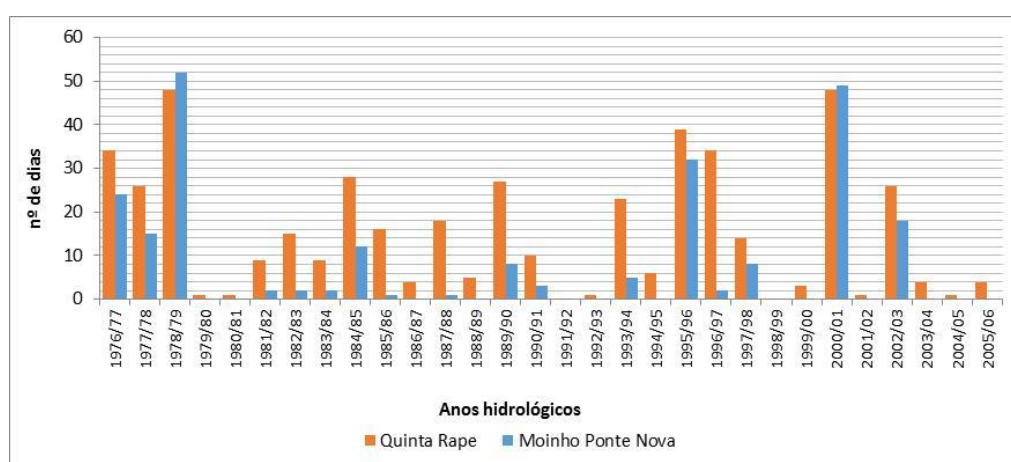


Figura 9.43. Distribuição anual dos dias com caudal de cheia em Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova.

Quanto à distribuição mensal, os meses de inverno detêm 75% e 83% dos dias com caudal de cheia, em Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova, respetivamente. O mês com maior percentagem de dias é, em Quinta Rape, o mês de dezembro, enquanto em Moinho da Ponte

Nova é janeiro. Com o decorrer da época chuvosa a barragem armazena maior quantidade de água e por isso tem uma menor capacidade de encaixe do escoamento, ocorrendo mais descargas, o que faz com que seja o mês de janeiro a registar mais dias com caudal de cheia (Figura 9.44).

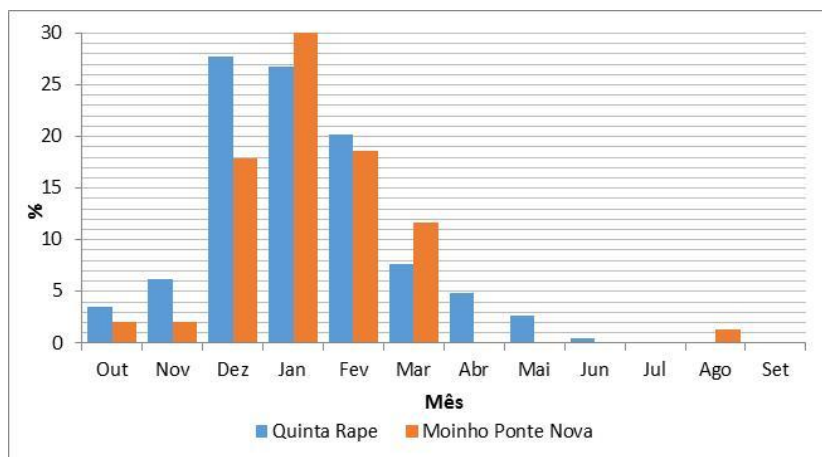


Figura 9.44. Distribuição mensal dos dias com caudal de cheia em Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova.

Tanto em Quinta Rape como em Moinho da Ponte Nova, a maior percentagem dos dias caudal de cheia sucedem isoladamente. De seguida, surgem os períodos de 2 e 3 dias. Os períodos consecutivos superiores a 10 dias com caudais de cheia ocorrem em 6% e 12% respetivamente em Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova (Figura 9.45). A maior percentagem em Moinho da Ponte Nova pode dever-se à menor capacidade de escoamento na ocorrência de períodos de precipitação contínuos, nomeadamente no inverno.

No Quadro 9.14 e Quadro 9.15, podemos observar os períodos temporais, por ano hidrológico, que ultrapassaram o limiar de cheia, bem como o máximo de caudal diário e o coeficiente de flutuação de cheia. Na estação de Quinta Rape, o valor máximo de caudal diário ocorreu no dia 21 de dezembro de 1989 com  $113 \text{ m}^3/\text{s}$ , o que se significa que o caudal ultrapassou 443 vezes o caudal semipermanente do curso de água nesse ano hidrológico.

Para além deste dia sucederam mais 2 dias com caudal superior a  $100 \text{ m}^3/\text{s}$  (25 de dezembro de 1996 e 7 de dezembro de 2000). As cheias dos anos hidrológicos de 1978/79, 1995/96 e 2000/01 destacam-se pela duração de 18, 24 e 19 dias consecutivos, respetivamente, em que o limiar foi ultrapassado. O dia 7 de dezembro de 2000 apresenta um caudal máximo instantâneo superior a 190 vezes o caudal semipermanente do rio Távora (Quadro 9.14 e Quadro 9.15).



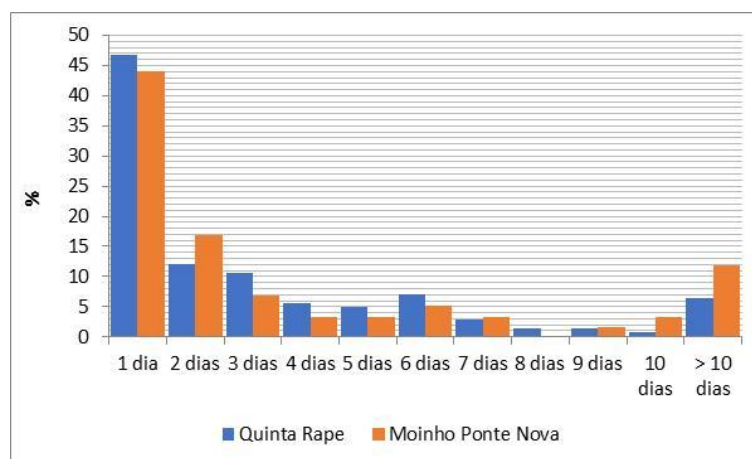


Figura 9.45. Número de dias consecutivos com caudal de cheia em Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova.

Em Moinho da Ponte Nova, o valor máximo de caudal diário ocorreu no dia 10 de fevereiro de 1979 com 157 m<sup>3</sup>/s. Registaram-se também mais 2 dias com caudal máximo superior a 100 m<sup>3</sup>/s (26 de janeiro de 2001 e 2 de janeiro de 2003). O período consecutivo cujo limiar foi ultrapassado aconteceu no ano hidrológico de 1978/79, de 5 a 26 de fevereiro com 22 dias. No dia 30 de dezembro de 2002, o caudal máximo foi 44 vezes superior ao caudal semipermanente desse ano hidrológico. Também se destaca o dia 2 de março de 1978, em que o caudal máximo foi 38 vezes superior ao caudal semipermanente (Quadro 9.15). No total, registaram-se em Quinta Rape 141 períodos consecutivos cujo limiar foi ultrapassado. Em Moinho da Ponte Nova ocorreram 59 períodos consecutivos.

O período de dados das estações hidrométricas (1976/77 a 2005/2006) não permite comparar com as ocorrências registadas na BDC-N. Apenas a estação de Moinho da Ponte Nova apresenta alguns dados entre 1947 e 1968, mas com muitas falhas e por isso não é possível perceber se o número de dias que ultrapassaram o limiar de cheia nas duas estações é equivalente às ocorrências registadas.

A bacia do rio Távora é a bacia, das quatro em estudo, a que apresenta menor número de ocorrências na base dados. Também exibe a particularidade de ter a barragem do Vilar, construída em 1965, que para além de regularizar os caudais do rio, abastece de água a central hidroelétrica, destinada à produção de energia elétrica. De realçar, o facto de todas as ocorrências registadas serem anteriores à construção da barragem. A bacia do Távora caracteriza-se pelas alturas médias superiores a 600 m e pela densidade de drenagem elevada. As áreas urbanas na bacia são esparsas e escassas, ocupando menos de 1% do total da área. Podemos concluir, que os dias em que o limiar de cheia é ultrapassado a montante da



barragem são relativamente frequentes. A partir da barragem do Vilar até à confluência do rio Douro, os dias ocorrem em menor número, apesar de que em situações excepcionais com períodos de precipitação extensos, o número de dias cujo limiar é ultrapassado acaba por se prolongar mais no tempo.

Quadro 9.14. Dias com caudal de cheia entre 1976/77 e 2005/06 em Quinta Rape.

Ano Hidro	Data	Duração	Máximo	Cfc	Ano Hidro	Data	Duração	Máximo	Cfc	Ano Hidro	Data	Duração	Máximo	Cfc
76-77	28-Out	1	15,5	7,0	87-88	15 a 16 Out	2	27,5	12,5	00-01	1 a 11 Dez	9	112,0	189,8
	11 a 12 Nov	2	14,3	6,5		31-Out	1	17,8	8,1		14-Dez	1	14,6	24,7
	07-Dez	1	16,0	7,3		13 a 15 Dez	3	23,1	10,5		25 Dez a 12 Jan	19	90,3	153,1
	1 a 2 Jan	2	25,0	11,4		06-Jan	1	16,4	7,5		24 a 28 Jan	5	76,2	129,2
	13 a 15 Jan	3	60,4	27,5		27-Jan	1	18,9	8,6		6 a 9 Feb	4	50,8	86,1
	25 a 30 Jan	6	33,7	15,3		29 a 30 Jan	2	35,3	16,0		2 a 10 Mar	8	53,4	90,5
	3 a 5 Feb	3	21,7	9,9		01-Fev	1	17,1	7,8		22-Mar	1	21,4	36,3
	10 a 16 Feb	7	39,2	17,8		04-Fev	1	15,9	7,2	01-02	25-Mar	1	15,2	25,8
	19 a 25 Feb	7	41,6	18,9		6 a 7 Feb	2	36,2	16,5		14-Mar	1	17,1	155,5
77-78	27-Feb	1	15,8	7,2	88-89	05-Mai	1	17,1	7,8	02-03	22 a 24 Nov	3	29,8	19,5
	7 a 12 Dez	6	29,2	15,6		07-Mai	1	16,2	7,4		10-Dez	1	17,4	11,4
	21-Dez	1	14,2	7,6		25 a 27 Feb	3	18,3	15,4		17 a 18 Dez	2	19,2	12,5
	28-Jan	1	36,6	19,6		01-Mar	1	14,5	12,2		24-Dez	1	18,5	12,1
78-79	16 Feb a 5 Mar	18	75,0	40,1		13-Abr	1	14,0	11,8		26 Dez a 10 Jan	15	83,3	54,4
	08-Dez	1	20,5	18,1	89-90	22 a 25 Nov	4	26,0	86,7		19 a 22 Jan	4	30,1	19,7
	11 a 16 Dez	6	42,2	37,3		09-Dez	1	17,9	59,7	03-04	31-Out	1	32,7	39,9
	23 a 25 Dez	3	45,9	40,6		12 a 27 Dez	1	133,0	443,3		22-Nov	1	18,3	22,3
	27 Dez a 4 Jan	9	46,1	40,8	90-91	27 Jan a 2 Feb	6	35,5	118,3	04-05	30 Nov a 1 Dez	2	16,9	20,6
	27-Jan	1	15,9	14,1		08-Nov	1	19,9	27,6		27-Out	1	25,8	64,5
	02-Fev	1	20,9	18,5		11-Jan	1	18,1	25,1	05-06	24-Mar	1	38,1	95,3
	4 a 18 Feb	15	83,8	74,2	92-93	5 a 10 Mar	6	27,0	37,5		2 a 3 Dez	2	25,8	41,0
	20-Mar	1	14,6	12,9		12-Mar	1	18,3	25,4		23-Mar	1	18,3	29,0
79-80	24 a 28 Mar	5	52,8	46,7	93-94	04-Dez	1	14,6	33,2					
	9 a 13 Abr	5	27,2	24,1		9 a 18 Out	10	65,4	50,7					
80-81	23-Jan	1	18,2	12,3		3 a 6 Nov	4	36,3	28,1					
81-82	12-Nov	1	16,6	36,9	94-95	5 a 12 Jan	8	67,4	52,2					
	21-Dez	1	14,3	32,5		21-Mai	1	23,8	18,4					
	23-Dez	1	16,9	38,4		26-Jan	1	18,5	46,3					
82-83	26 Dez a 1 Jan	7	51,8	117,7	95-96	12 a 15 Feb	4	43,2	108,0					
	25-Fev	1	16,8	11,7		17-Feb	1	16,2	40,5					
	22 Abr a 2 Mai	11	30,8	21,4		24 Dez a 16 Jan	24	116,0	150,6					
	12-Mai	1	18,6	12,9		20 a 24 Jan	5	31,1	40,4					
83-84	16 a 17 Mai	2	26,3	18,3	96-97	28 a 29 Jan	2	25,3	32,9					
	18 a 23 Dez	6	57,6	36,3		2 a 3 Feb	2	25,3	32,9					
	28-Mar	1	19,1	12,1		06-Fev	1	14,3	18,6					
	31 Mar a 1 Abr	2	15,3	9,7		01-Abr	1	20,2	26,2					
84-85	15 a 16 Nov	2	31,4	11,1	97-98	10-Mai	1	17,0	22,1					
	19-Nov	1	19,8	7,0		18 a 20 Mai	3	25,3	32,9					
	21 a 23 Nov	3	19,2	6,8		23-Nov	1	31,6	16,0					
	30 Nov a 1 Dez	2	19,6	6,9		13 a 14 Dez	2	35,6	18,1					
	03-Dez	1	14,2	5,0	99-00	17 a 29 Dez	13	56,8	28,8					
	20 a 23 Jan	3	23,9	8,4		8 a 23 Jan	16	88,7	45,0					
	25 a 27 Jan	3	31,1	11,0		31-Jan	1	14,6	7,4					
85-86	8 a 18 Feb	11	52,4	18,5		07-Jun	1	19,8	10,1					
	09-Abr	1	15,8	5,6		11-Nov	1	28,1	23,0					
	25 a 28 Dez	4	32,5	34,9		13-Nov	1	23,5	19,3					
	2 a 3 Jan	3	23,8	25,6		25-Nov	1	26,3	21,6					
	7 a 8 Jan	3	25,0	26,9		17 a 23 Dez	7	56,1	46,0					
	14-Fev	1	16,6	17,8		28 a 29 Dez	2	17,7	14,5					
86-87	16 a 18 Feb	3	24,8	26,7		13-Jan	1	19,7	16,1					
	21-Fev	1	21,1	22,7		01-Jun	1	18,7	15,3					
	23 a 25 Feb	3	24,0	25,8		18 a 19 Abr	2	21,1	34,3					
	29-Jan	1	14,3	34,0		22-Abr	1	15,7	25,5					
	02-Fev	1	16,5	39,3										
	11-Fev	1	23,9	56,9										
	07-Abr	1	20,3	48,3										

Quadro 9.15. Dias com caudal de cheia entre 1976/77 e 2005/06 em Moinho da Ponte Nova.

Ano Hidro	Data	Duração	Máximo	Cfc	Ano Hidro	Data	Duração	Máximo	Cfc
76-77	14-Jan	1	6,1	3,8	95-96	30 Dez a 1 Jan	3	8,2	4,2
	11 Feb a 28 Feb	18	49,5	31,2		05 a 17 Jan	13	57,1	29,5
	2 a 6 Mar	5	12,6	7,9		20 a 29 Jan	10	34,4	17,7
77-78	16-Fev	6	5,7	2,7		1 a 7 Feb	6	11,5	5,9
	24 Feb a 9 Mar	14	80,7	37,9	96-97	8 a 9 Jan	2	6,6	12,0
78-79	27-Dez	1	6,2	1,2	97-98	25-Nov	1	5,9	6,2
	29 a 30 Dez	2	5,8	1,2		6 a 7 Dez	2	14,6	15,2
	5 a 26 Feb	22	157,0	31,5		17 a 22 Dez	5	9,6	10,0
	18 a 30 Mar	13	51,2	10,3		13 a 14 Jan	2	10,3	10,7
	02-Abr	1	7,7	1,5	00-01	08-Dez	1	5,5	1,1
	9 a 19 Abr	11	41,2	8,3		28-Dez	1	5,4	1,1
	21 a 23 Abr	3	8,1	1,6		30 Dez	1	5,1	1,0
81-82	30 a 31 Dez	2	6,3	14,9		1 a 13 Jan	13	56,2	11,1
82-83	9 a 10 Ago	2	7,2	12,8		18 a 19 Jan	2	6,3	1,2
83-84	22-Nov	1	5,0	8,1		23 a 29 Jan	7	111,0	21,9
	20 Dez	1	6,6	10,9		06 a 12 Feb	6	98,3	19,4
84-85	16-Nov	1	5,9	3,9		15-Fev	1	22,3	4,4
	25-Jan	1	4,9	3,2		2 a 10 Mar	9	76,5	15,1
	11 a 20 Feb	10	51,4	34,1		20 a 23 Mar	4	43,2	8,5
85-86	17-Fev	1	6,1	23,3		28-Mar	1	6,1	1,2
86-87	06-Fev	1	4,8	18,5	02-03	24-Dez	1	5,0	1,8
89-90	16-Dez	1	4,8	6,4		26 a 28 Dez	3	77,5	28,4
	18-Dez	1	5,4	7,3		30 Dez	1	121,0	44,3
	21 a 22 Dez	2	20,2	27,3		1 a 7 Jan	7	46,3	16,9
	26-Dez	1	6,1	8,3		9 a 10 Jan	2	45,0	16,5
	31-Jan	1	13,0	17,6		19 a 22 Jan	4	37,0	13,5
	1 a 2 Feb	2	14,0	18,9					
90-91	6 a 8 Mar	3	7,4	14,9					
93-94	9 Out	1	10,7	13,3					
	13-Out	1	6,5	8,1					
	16-Out	1	7,3	9,1					
	06-Jan	1	10,3	12,8					
	10-Jan	1	7,7	9,6					

#### 9.4.2. Precipitação antecedente e caudal máximo de cheia

Do total de ocorrências na bacia do Távora, apenas uma (10 de fevereiro de 1912) não tem dados de precipitação diária. Como é possível observar no Quadro 9.16, o comportamento da precipitação antecedente é bastante dissemelhante.

A cheia de 21 de janeiro de 1936 sobressai pelos valores elevados de precipitação acumulada, sendo o período de retorno para a precipitação em 30 dias de 36 anos. A cheia registada em agosto de 1944 apresenta valores baixos de precipitação na estação de Aguiar da Beira. Esta

situação está descrita na notícia por um temporal e ocorrência de trovoadas, provocando a destruição de pontes.

Quadro 9.16. Precipitação acumulada e intensidade diária (mm/h) das ocorrências com dados de precipitação diária na bacia do rio Távora.

Data	Ocorrências	Estação Meteorológica mais próxima	Intensidade Diária (mm/h)	Precipitação Acumulada											
				1 dia	2 dias	3 dias	4 dias	5 dias	10 dias	15 dias	30 dias	40 dias	60 dias	75 dias	90 dias
21-01-1936	1	Aguiar da Beira	2,1	51	83	138	181	207	230	271	767	897	912	1120	1185
28-08-1944	1	Aguiar da Beira	1,3	31	44	44	44	44	73	73	73	76	101	147	151
23-12-1945	1	Aguiar da Beira	2,6	64	96	107	121	138	301	301	325	375	501	557	
14-11-1963	3	Aguiar da Beira	3,1	73	148	213	260	324	395	516	567	567			
15-11-1963	1	Aguiar da Beira	2,0	48	122	196	261	308	423	542	615	615			

Como os valores de precipitação são relativamente baixos, podemos concluir que se tratou de uma situação de precipitação intensa localizada que não afetou a estação de Aguiar da Beira. A ocorrência de 23 de dezembro de 1945 apresenta um valor de precipitação diária de 64 mm e uma intensidade diária de 2,3 mm/h. Neste caso, também se denota a importância das precipitações acumuladas, nomeadamente para 10 dias, no qual o período de retorno é de 5 anos (Figura 9.46 e Quadro 9.17). Nos dias 14 e 15 de novembro de 1963 registaram-se 4 ocorrências, sendo de destacar os valores acumulados para 5 dias. Estas ocorrências serão analisadas com maior pormenor mais à frente.

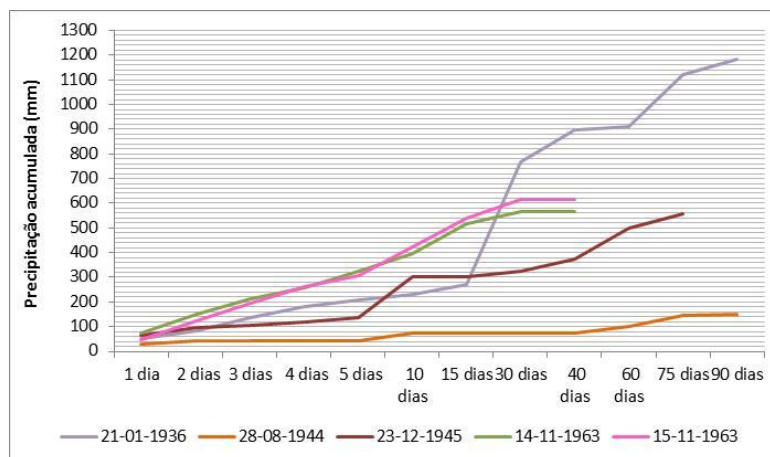


Figura 9.46. Precipitação acumulada para as ocorrências de cheias, na bacia do rio Távora.

As combinações críticas da quantidade/duração da precipitação permitem verificar que a classificação do tipo de cheia realizada durante a construção da BDC-N está correta na bacia do Távora.

Quadro 9.17. Período de retorno (em anos) para a precipitação acumulada das ocorrências de cheias na Bacia do rio Távora.

Data	Ocorrências	Precipitação Acumulada											
		1 dia	2 dias	3 dias	4 dias	5 dias	10 dias	15 dias	30 dias	40 dias	60 dias	75 dias	90 dias
21-01-1936	1	1,3	1,5	3,2	4,5	4,6	2,2	2,1	36,0	33,8	11,4	17,7	16,0
28-08-1944	1	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
23-12-1945	1	1,9	2,0	1,6	1,5	1,6	4,9	2,7	1,7	1,7	1,9	1,9	
14-11-1963	3	2,8	11,3	25,0	27,6	43,0	17,5	24,1	8,0	4,5			
15-11-1963	1	1,2	4,5	15,5	28,6	31,3	25,8	31,9	11,5	5,9			

Ao analisar os dias que ultrapassaram o limiar que indica uma situação de cheia, para Quinta Rape e Moinho de Ponte Nova, verificamos a importância da precipitação acumulada, com maior destaque para Moinho da Ponte Nova, uma vez que, após longos períodos de precipitação, a albufeira tem menor capacidade de reter o escoamento. Pelo contrário, os dias com períodos de retorno mais baixos, de 1, 2 ou 3 dias, correspondem apenas a 5% e 3% do total dos dias que ultrapassaram o limiar em situação de cheia, em Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova, respetivamente (Figura 9.47). Estes resultados comprovam a importância da precipitação acumulada no desencadeamento das cheias.

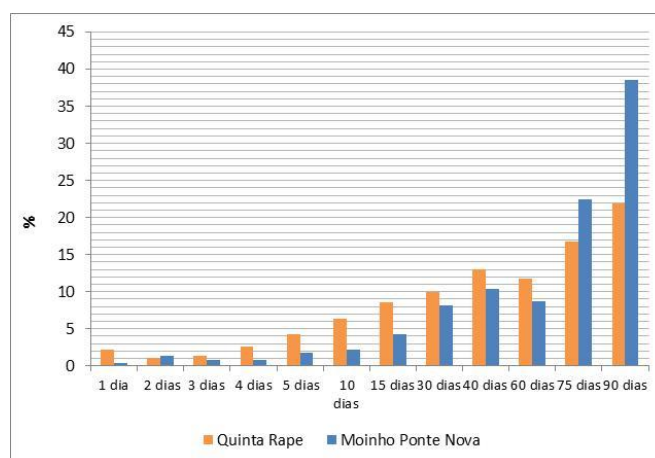


Figura 9.47. Durações críticas dos dias com caudal superior ao limiar de situação de cheia em Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova.

### Cheias de 14 e 15 de novembro de 1963

As cheias de 14 e 15 de novembro de 1963 causaram 4 ocorrências na bacia do Távora. Estas ocorrências estão narradas nas notícias como “*chuva torrencial (...) chuva há alguns dias (...) águas em cavalgada catastrófica*” (Diário de Notícias, 16 e 17-11-1963). Causaram para além

de um morto e dois desalojados, a destruição de moinhos, habitações e pontes e prejuízos agrícolas superiores a 200 contos. Decidimos portanto comparar as precipitações registadas em duas estações meteorológicas (Aguiar da Beira e Leomil) com os dados hidrométricos de Moinho da Ponte Nova (anteriores à construção da barragem). Tanto em Aguilar da Beira como em Leomil, podemos verificar um período consecutivo com precipitação desde o dia 30 de outubro, ou seja, de 17 dias. A precipitação acumulada em Aguilar da Beira desde este dia foi de 615 mm e em Leomil de 588 mm. A partir do dia 10 de novembro, em ambas as estações, os valores de precipitação aumentam, sendo superiores a 40 mm por dia. No dia 14 de novembro, dia que registou uma ocorrência, a precipitação em Aguilar da Beira foi de 73 mm e em Leomil de 54 mm. No dia seguinte, Aguilar da Beira assinalou 48 mm e Leomil, 140 mm (Figura 9.48: as linhas vermelhas verticais indicam a ocorrência das cheias).

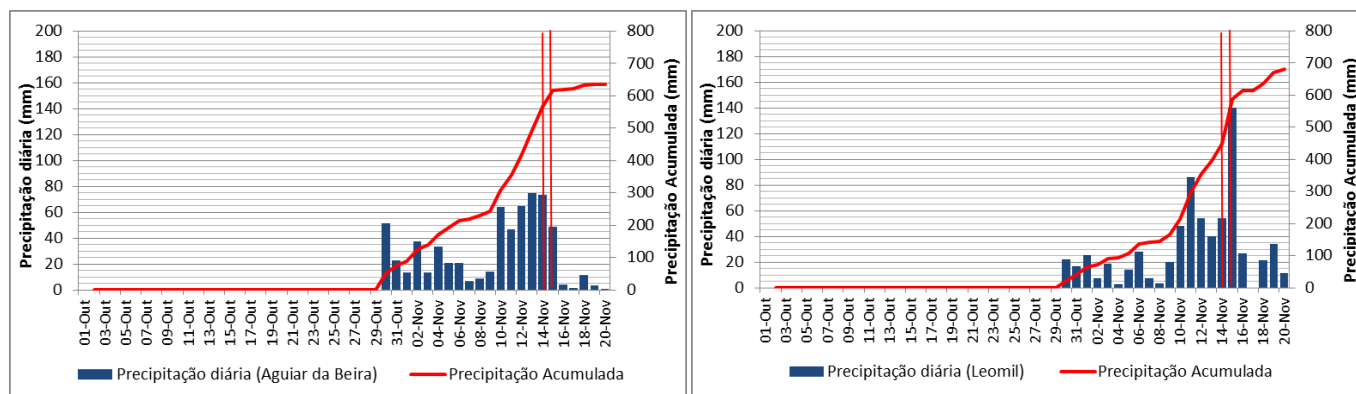


Figura 9.48. Precipitação diária e precipitação acumulada entre 1 de outubro e 20 de novembro de 1963.

Na estação de Aguilar da Beira, comprovamos por isso, a importância da precipitação acumulada principalmente desde o dia 10 de outubro, contabilizando um período de retorno da precipitação acumulada de 43 anos.

Em Leomil, estação localizada na serra de Leomil a 704 m de altitude, a intensidade do dia 15 de novembro foi de tal ordem que o período de retorno é de 116 anos. Analisando os valores dos caudais diários (Figura 9.49) podemos verificar que a partir do início do período chuvoso o caudal começa a subir gradualmente, atingindo um pico no dia 11 de novembro com  $139 \text{ m}^3/\text{s}$  e depois outro pico nos dias das ocorrências: 253 e  $263 \text{ m}^3/\text{s}$ .

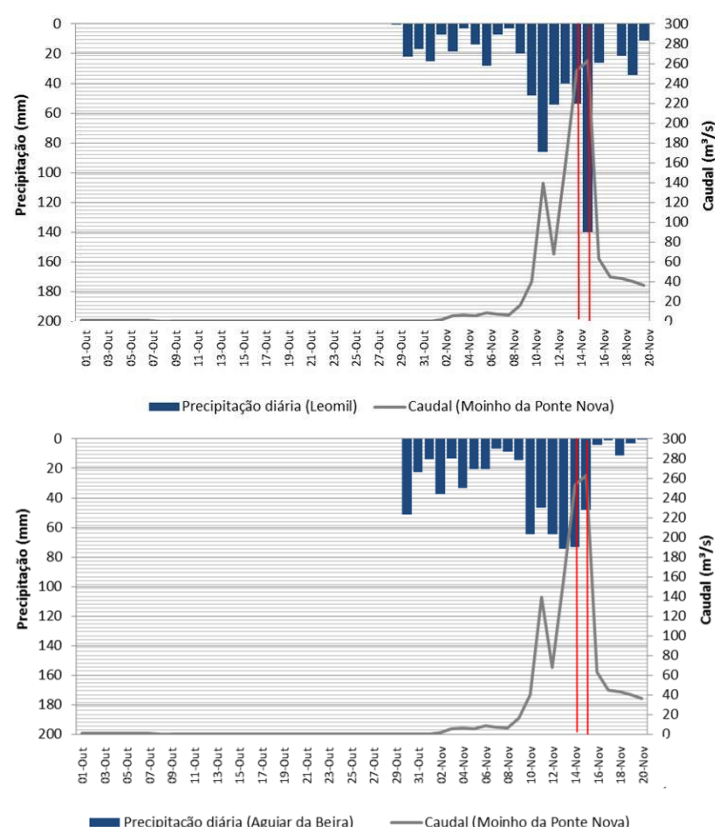


Figura 9.49. Hidrograma das cheias de dia 14 e 15 de novembro de 1963.

### 9.4.3. Causas meteorológicas das cheias

Como nas restantes bacias em estudo, o tipo de tempo de circulação C (ciclónico) está relacionado com a ocorrência de 7 das 8 ocorrências. Na ocorrência registada em agosto é o tipo de circulação R (crista) que domina o estado do tempo em Portugal (Quadro 9.18). Nos dias em que o limiar de caudal em situação de cheia é ultrapassado, o tipo de circulação ciclónico (C), domina em 49% e 42% dos dias, em Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova, respetivamente (Figura 9.50).

Quadro 9.18. Tipos de tempo registado nos dias das ocorrências das cheias registadas na bacia do Távora.

Data	Ocorrências	WR
10-02-1912	1	C
21-01-1936	1	C
28-08-1944	1	R
23-12-1945	1	C
14-11-1963	3	C
15-11-1963	1	C

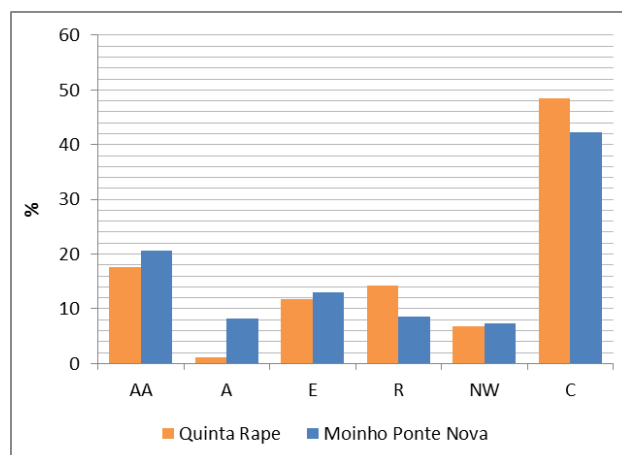


Figura 9.50. Tipos de tempo nos dias com caudal em situação de cheia na bacia do rio Távora.

O tipo C domina também no outono, inverno e primavera. No verão, como se tratam de poucas ocorrências as percentagens estão repartidas entre os tipos C e R, em Quinta Rape e o total da percentagem no tipo de circulação E, em Moinho da Ponte Nova (Figura 9.51).

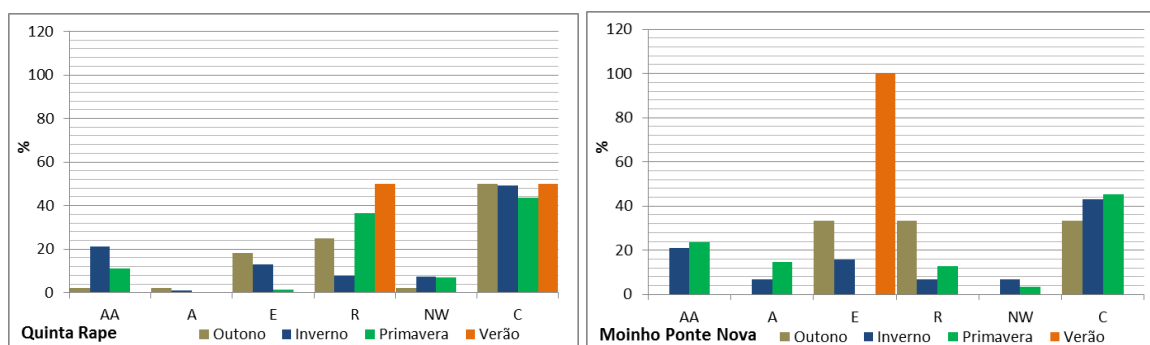


Figura 9.51. Tipos de tempo nos dias com caudal em situação de cheia por estações do ano na bacia do rio Távora.

## 9.5. Conclusão

Ao longo deste capítulo tentámos analisar a precipitação antecedente e sempre que possível o caudal diário nos períodos das ocorrências de cheias, registadas nas bacias em estudo. Como o número de ocorrências é relativamente baixo, abordámos também os dias cujo limiar do quádruplo do módulo do caudal foi atingido ou superado, considerado por alguns autores como indicativo da ocorrência de uma cheia. O facto do número de ocorrências em cada bacia ser relativamente baixo, associado à falta de dados pluviométricos e hidrométricos para todas as ocorrências, condicionam as conclusões aqui apresentadas.



As cheias ocorrem sobretudo no inverno e afetam as principais áreas urbanas das bacias do Vez, Este e Corgo. Na bacia do Vez, é a área da Valeta na vila de Arcos de Valdevez a mais afetada pelas ocorrências. Na bacia do Este, a cidade de Braga é a que regista mais ocorrências, devido sobretudo à artificialização do percurso do rio e à construção nos leitos de cheia. Na bacia do Corgo, a cidade de Vila Real é a mais afetada pelas ocorrências de cheias registadas BDC-N. Durante 1865 a 2011, as bacias do Este e Corgo são as que registam mais ocorrências. Deste modo, a maioria das ocorrências das cheias registadas está, em parte, relacionada com a ocupação imprópria dos leitos de cheia. Se analisarmos os dias em que o limiar de caudal foi atingido, como indicativo de cheia, confirmamos que estes dias são frequentes no inverno. Na bacia do Távora, a partir da barragem do Vilar até à confluência do rio Douro, os dias ocorrem em menor número, apesar de que em situações excecionais com períodos de precipitação extensos, o número de dias em que o limiar é ultrapassado acaba por se prolongar por mais tempo, devido à menor capacidade de retenção do escoamento da barragem. O baixo número de ocorrências registadas, comparativamente aos dias cujo limiar de cheia foi superado, não indica que não tenham ocorrido mais cheias, apenas que não houve danos noticiados.

O estudo da precipitação antecedente e respetivos períodos de retorno permite concluir que o comportamento da precipitação é singular de ocorrência para ocorrência. No entanto, a precipitação acumulada superior a 60 dias, tem uma importância relevante na maioria das ocorrências. Também verificamos episódios chuvosos extremos e excecionais de precipitação que causam ocorrências sobretudo de cheias rápidas, ao excederem a capacidade de absorção dos solos. Por outro lado, existem também ocorrências que são o resultado da precipitação intensa no dia da cheia e da precipitação acumulada nos últimos 4 ou 5 dias, com valores excecionais de acumulação. Por fim, também observamos algumas ocorrências em que os períodos de precipitação não são significativos e os períodos de retorno relativamente baixos. Estas situações podem ser justificadas por precipitação intensa e bastante localizada ou as datas das ocorrências, retiradas das notícias dos principais jornais de referência da região, estarem erradas.

Em termos percentuais, as combinações críticas para durações entre 10 e 40 dias, têm maior importância no desencadeamento de cheias na bacia do Vez enquanto na bacia do Este, sobressaem as combinações críticas para durações entre 2 e 5 dias. Na bacia do Corgo, as combinações críticas estão distribuídas por todas as durações de forma idêntica. Na bacia do Távora, o baixo número de ocorrências não permite tirar conclusões a este respeito. Deste modo, na bacia do Vez, a precipitação acumulada para durações superiores a um mês são

fundamentais para o desencadeamento das cheias, enquanto na bacia do Este, bastam 2 a 5 dias de precipitação acumulada para desencadear a maioria das ocorrências. Na bacia do Corgo, verificam-se tanto, episódios de precipitação contínua e acumulada superior a 30 dias que desencadeiam cheias, como, episódios mais concentrados no tempo que desencadeiam cheias.

Em termos de proporção entre os eventos que estão na BDC-N e os eventos de cheia que atingiram o limiar, nas bacias onde é possível analisar este parâmetro (Vez, Este e Corgo), este valor situa-se entre os 2 e os 3%. São valores, relativamente baixos, em comparação com os dias que ultrapassaram o caudal de cheia. Estes valores podem estar relacionados com o facto de estarmos a analisar apenas as ocorrências de cheias com danos reportados. Por outro lado, é difícil concluir se magnitude das cheias com dados reportados em relação à magnitude dos dias com caudal de cheia apresenta diferenças significativas, uma vez que só temos dados de caudal para poucos eventos.

A análise às combinações críticas da quantidade/duração da precipitação permitiu verificar que a classificação do tipo de cheia, preenchida aquando da construção da BDC-N, apresenta algumas falhas. Desta forma, do total de 67 eventos com dados pluviométricos nas quatro bacias em estudo, 12% apresentam erros na sua definição. Cinco eventos estão definidos como cheias progressivas e são cheias rápidas, e três eventos classificados como cheias rápidas, são cheias progressivas. Nas ocorrências em que foi possível analisar o caudal dos rios principais, comprovamos que o regime dos rios acompanha a variação da precipitação. Deste modo o comportamento do caudal é irregular e por isso verificamos anos cujo limiar de caudal de cheia não foi atingido nenhuma vez e outros anos com muitos dias o limiar foi ultrapassado. São de destacar os anos hidrológicos de 1935/36, 1978/79 e 2000/01 com períodos consecutivos de precipitação excepcionais, devido à passagem consecutiva de sistemas frontais, o que se traduziu em caudais também elevados e a ocorrências de cheias.

Nas bacias em estudo, o tipo de circulação atmosférica C (ciclónico) predomina nos dias das ocorrências bem como nos dias cujo limiar de caudal de cheia foi atingido. Os tipos de circulação anticiclónica registados em alguns dias podem dever-se ao facto de em situações de cheias prolongadas, o caudal continuar elevado, apesar de se verificar uma melhoria do estado do tempo.

O próximo capítulo será dedicado a estabelecer limiares da precipitação no desencadeamento das cheias de modo, a permitir antever situações de cheias que comprometam a vida e os bens das populações.

## Capítulo 10. Limiares de precipitação para o desencadeamento de cheias

### 10.1. Determinação de limiares de precipitação desencadeantes de cheias

Neste capítulo, pretende-se determinar os limiares de precipitação a partir dos quais podem ocorrer cheias e validar os mesmos limiares, determinando quais as estações que apresentam um melhor ajuste aos eventos de cheia, registados no passado.

A precipitação é uma das principais causas de riscos naturais e está por isso relacionada com a ocorrência de cheias (Borga *et al.*, 2011; Gaál *et al.*, 2014; Wilhelmi & Morss, 2013). A severidade de um evento de precipitação e o seu potencial dano está dependente da quantidade total de chuva, mas também da intensidade e da duração do evento (Gaál *et al.*, 2014). É por isso interessante definir limiares, que ao serem atingidos ou excedidos podem desencadear cheias. Um limiar corresponde ao nível mínimo ou máximo necessário para que um determinado processo ocorra ou que se verifique uma mudança no seu estado (White *et al.* 1996 in Guzzetti *et al.*, 2007). Na Figura 10.1 podemos observar de forma esquemática um limiar de precipitação e a sua utilização.

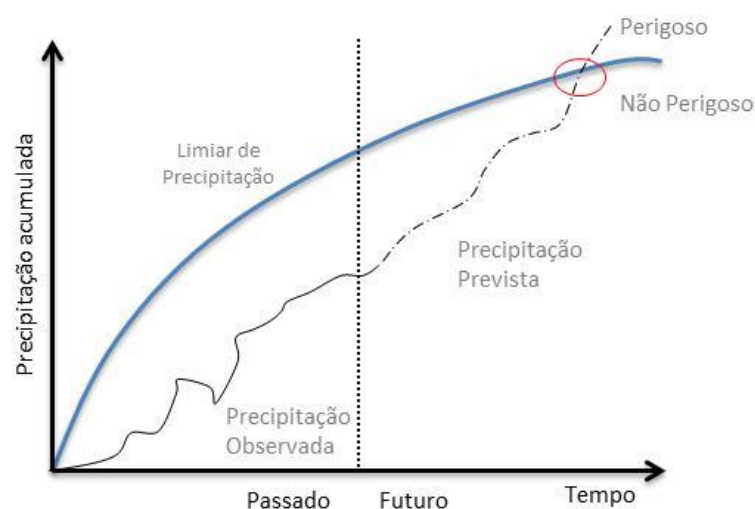


Figura 10.1. Exemplo de um limiar de precipitação e a sua utilização.

Adaptado de Martina *et al.* (2006).

Vários trabalhos anteriores abordam os limiares de precipitação e a sua aplicação a movimentos de vertente (Ascenso, 2011; Calvello *et al.*, 2015; Dahal & Hasegawa, 2008; Gariano *et al.*, 2015; Guzzetti *et al.*, 2007; Oliveira *et al.*, 2014; Oliveira, 2012; Pereira *et al.*, 2009; Zêzere, 1997; Zêzere *et al.*, 2015). Apesar de ser considerada uma das abordagens emergentes na previsão de cheias (Golian *et al.*, 2010), a pesquisa e aplicação de limiares de precipitação têm sido mais limitados, em comparação com os movimentos de vertente (Diakakis, 2012).

Hapuarachchi *et al.* (2011) classificaram as diferentes abordagens na previsão de cheias em: (1) procedimentos de avaliação de suscetibilidade a cheias; (2) métodos de comparação da precipitação; e (3) métodos de comparação do caudal. Em geral, um sistema de previsão típico em tempo real baseia-se num modelo hidrológico, o que exige dados em tempo real de precipitação e caudal (Kourgialas *et al.*, 2012). Bracken *et al.* (2008) ou Kourgialas *et al.* (2012) relacionam a precipitação com os limiares de escoamento identificando a precipitação crítica para causar cheias, nas suas áreas de estudo. Martina *et al.* (2006) ou Diakakis (2012) definiram limiares de precipitação para uma dada condição de humidade do solo. Grande parte dos sistemas de alerta operacionais para cheias são baseados em medições de precipitação e de caudal. Alfieri & Thielen (2015) elaboraram um sistema de alerta precoce com base nas previsões de acumulação da precipitação intensa na Europa. Entre dezembro de 2009 e setembro de 2011, detetaram até 90% de eventos ocorridos na Europa.

Na conceção de um sistema de alerta, um dos primeiros e principais problemas prende-se com a falta de dados de base (precipitação e caudal) com um período de tempo suficientemente longo. Neste trabalho, como os dados de caudal são insuficientes, só poderemos utilizar os dados de precipitação na tentativa de identificar limiares críticos para a ocorrência de cheias, nas bacias em estudo. Deste modo, iremos aplicar e testar a metodologia utilizada noutros trabalhos sobre movimentos de vertente em Portugal (Ascenso, 2011; Oliveira, 2012; Pereira, 2009; Zêzere, 1997). Para a determinação dos limiares de precipitação, parte-se do pressuposto que as combinações críticas quantidade/duração de precipitação acumulada que apresentam um período de retorno mais elevado serão as mais significativas, do ponto de vista estatístico, para fundamentar a ocorrência de fenómenos extremos (Ascenso, 2011; Oliveira, 2012; Zêzere, 1997). Assim, pretende-se determinar limiares críticos de quantidade/duração/intensidade de precipitação com base nos registos de precipitação que desencadearam as ocorrências de cheias presentes na BDC-N e estudadas no capítulo anterior. Não foi possível estabelecer os limiares por tipologia de cheia, porque o número de ocorrências em cada bacia é insuficiente.

Uma das principais vantagens desta metodologia consiste na possibilidade de implementação de sistemas de alerta, monitorizando a perigosidade e risco de cheias. Por outro lado, uma das principais desvantagens está relacionada com a ocorrência de falsos negativos ou falsos positivos, ou seja, ocorrências que não estão previstas no modelo ou ocorrências que são identificadas como potenciadores de cheias, mas que não ocorrem.

As séries de precipitação foram organizadas em anos hidrológicos (de outubro a setembro) e calcularam-se as precipitações máximas para diferentes durações de tempo (1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 30, 40, 60, 75, 90 dias), bem como os respetivos períodos de retorno. Para cada evento de cheia foram identificadas as precipitações diárias e acumuladas até 90 dias e calculados os respetivos períodos de retorno, utilizando-se a distribuição de *Gumbel* (Gumbel, 1958), com base na probabilidade de excedência de valores extremos. Como verificámos no capítulo anterior, foram registados eventos com períodos de recorrência de 1 ano. Estas situações foram justificadas pela possibilidade da localização do evento no espaço não atingir a estação pluviométrica ou por ocorrências de cheias verificadas no início do ano hidrológico afetando sistemas de drenagem pluviais que não respondem a pequenos quantitativos de precipitação. Desta forma, e assim como foi optado por Ascenso (2011), os eventos com período de retorno igual a 1 ano em todas as estações não foram considerados na elaboração dos limiares, para evitar o aumento dos falsos positivos. Em primeiro lugar, foram calculadas as combinações críticas (quantidade/duração/intensidade) tendo por base o período de retorno mais elevado para todas as estações das áreas em estudo. De seguida, para a estação com o coeficiente de determinação mais elevado, consideraram-se as combinações críticas de precipitação absoluta acumulada e a duração dos eventos que desencadearam cheias, assim como os registos máximos de precipitação antecedente acumulada para as diferentes durações (1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 40, 60, 75 e 90 dias) dos anos hidrológicos das séries de dados em estudo em que não se registaram cheias, de modo a validar o limiar estabelecido.

Para comparar os limiares de precipitação obtidos por regressão linear, procedeu-se à sua normalização, através da ponderação dos valores de precipitação antecedente acumulada para cada um dos eventos pela precipitação média anual. Esta metodologia aplicada noutros trabalhos (e.g. Ascenso, 2011; Oliveira, 2012; Pereira, 2009) tem como objetivo reduzir as diferenças nos valores de precipitação devido às diferentes altitudes a que as estações se encontram. Para além disto, esta abordagem permite determinar o grau de exigência necessário para que um determinado limiar seja atingido em cada uma das estações. Para tal aplicou-se a seguinte equação (Guzzetti *et al.*, 2007):

$$Pn = \frac{Pc}{PMA}$$

*Equação 10.1*

Em que:  $Pn$  é precipitação normalizada pela precipitação média anual ( $PMA$ ) e  $Pc$  corresponde à precipitação crítica acumulada para as diferentes durações entre 1 e 90 dias.

O próximo passo refere-se à determinação dos limiares de precipitação para os dias que ultrapassaram o caudal de cheia, definido anteriormente. Desta forma, pretende-se perceber se os resultados destes limiares são idênticos aos limiares calculados com base nos eventos de cheias.

Por fim, apresenta-se também a determinação de limiares mínimos e máximos que delimitam as fronteiras inferior e superior da probabilidade de um determinado fenómeno ocorrer, com base na metodologia aplicada aos movimentos de vertente, por Oliveira (2012), à região a norte de Lisboa. O limiar mínimo é definido pelo limite acima do qual estão incluídos todos os eventos (verdadeiros positivos) e o limiar máximo é determinado pelo limite acima do qual deixam de existir falsos positivos (datas em que os valores de precipitação poderiam desencadear cheias, mas tal não se verificou).

É definido o limiar mínimo, através da aproximação ao limiar originado por regressão linear das combinações críticas que desencadearam eventos de cheias. O limiar mínimo é delimitado por duas durações críticas de eventos diferentes e de uma nova reta de tendência linear, incluindo a totalidade dos verdadeiros positivos. O próximo passo, compreende a determinação do limiar máximo. Deste modo, foi definida a reta de regressão linear para as combinações máximas de quantidade/duração associadas a cada um dos anos em que não se registaram ocorrências de cheias. De seguida, projetou-se a reta para uma magnitude superior, para selecionar as duas combinações críticas que permitissem a não existência de falsos positivos e definiu-se a reta de regressão do tipo potencial, de modo a garantir um maior número de verdadeiros positivos acima deste limite. Esta metodologia permite também a definição de um limiar de pré-aviso, ou seja, quando se atinja 90% da precipitação diária necessária para ultrapassar o limiar mínimo para uma qualquer duração. Para a validação destes limiares foram também utilizados os valores máximos de precipitação anual para as diferentes durações dos anos em que não se registaram ocorrências. Para não enviesar os resultados, os registos de precipitação antecedente acumulada que ultrapassaram o limiar mínimo em mais do que uma duração crítica, foram considerados apenas uma vez e para

separar os eventos independentes, estes valores de precipitação para as diferentes durações devem estar separados por um ou mais dias (Oliveira, 2012). Desta forma, a validação é feita através do cálculo da razão entre o número total de eventos de cheias e o número total de eventos de precipitação que não originaram ocorrências de cheias, apesar do valor de precipitação antecedente acumulada, se encontrar acima do limiar mínimo. Este cálculo permite assim definir a probabilidade de um evento de precipitação que ultrapasse o limiar mínimo, desencadear um evento de cheia nas bacias em estudo.

### 10.1.1. Bacia do rio Vez

O Quadro 10.1 apresenta as combinações críticas (quantidade/duração), tendo por base o valor do período de retorno mais elevado, para cada evento de cheia e para as estações de Aveleiras, Britelo, Casal Soeiro, Extremo, Ponte da Barca e Peneda.

As combinações críticas ocorrem em durações variadas (1 a 75 dias), não se verificando um padrão regular, o que significa que, podem ocorrer cheias em diferentes combinações de quantidade/duração. Todos os eventos em análise estão classificados como cheias progressivas. De uma forma geral, os valores de precipitação crítica são mais elevados nas estações de Aveleiras e Peneda. Os quantitativos de precipitação crítica variam muito, sendo em termos médios de 327 mm a diferença máxima. Quanto à duração crítica, verifica-se um maior acerto entre estações. No entanto, não existe nenhuma ocorrência em que o acerto é total em todas as estações em estudo. Em termos de período de retorno, a estação de Casal Soeiro é a que apresenta os valores mais elevados. As diferenças médias entre as estações situam-se nos 11 anos. A maior diferença ocorre no dia 30 de Dezembro de 1981 e é de cerca de 61 anos. Para a estação de Peneda o período de retorno determinado foi de 64 anos, enquanto para Aveleiras este valor foi de apenas 3 anos.

Depois de determinadas as condições críticas (quantidade/duração) da precipitação antecedente acumulada desencadeante de cada evento e para cada estação, apresentam-se na Figura 10.2 os limiares críticos (quantidade/duração) derivados por regressão linear.

Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para as diferentes estações variam entre 0,56 para Peneda e 0,99 para Casal Soeiro. As estações de Casal Soeiro e Ponte da Barca são as que apresentam um melhor ajustamento à regressão do tipo linear. No geral, as estações de Britelo e Peneda são as que evidenciam quantitativos de precipitação críticos mais baixos. A estação escolhida para a restante análise foi então Casal Soeiro, sendo a equação determinada por regressão linear de  $y=18,79x + 139,52$  (Figura 10.2 e Figura 10.4).



Quadro 10.1. Combinações críticas (quantidade/duração) associados às ocorrências de cheias na bacia do rio Vez para as diferentes estações. A negrito encontra-se a combinação crítica com o período de retorno mais elevado.

Eventos		Aveleiras	Britelo	Casal Soeiro	Extremo	P.Barca	Peneda
11-02-1936	mm	—	1108,3	—	—	<b>1223,4</b>	—
	Pr	—	15,6	—	—	<b>23,1</b>	—
	dias	—	60,0	—	—	<b>60,0</b>	—
30-12-1981	mm	708,2	623,5	<b>679,8</b>	644,4	642,0	995,2
	Pr	2,5	6,4	<b>5,9</b>	2,6	6,1	63,9
	dias	30,0	30,0	<b>30,0</b>	30,0	30,0	10,0
08-10-1987	mm	135,0	87,5	149,0	130,0	<b>100,6</b>	252,5
	Pr	3,3	3,4	17,9	4,8	<b>6,6</b>	4,1
	dias	1,0	1,0	1,0	1,0	<b>1,0</b>	2,0
18-12-1989	mm	809,2	298,5	<b>389,6</b>	508,1	384,0	378,4
	Pr	1,6	3,0	<b>6,6</b>	11,5	9,8	1,6
	dias	60,0	10,0	<b>10,0</b>	10,0	10,0	10,0
09-01-1994	mm	454,0	316,7	290,0	285,0	<b>194,4</b>	147,5
	Pr	2,0	2,1	7,8	4,1	<b>2,2</b>	1,3
	dias	15,0	15,0	5,0	5,0	<b>5,0</b>	2,0
21-09-1999	mm	302,0	185,9	<b>145,0</b>	285,5	—	150,6
	Pr	4,1	3,3	<b>15,5</b>	7,8	—	3,3
	dias	4,0	40,0	<b>1,0</b>	4,0	—	1,0
07-12-2000	mm	1246,4	799,6	894,4	170,0	—	1321,1
	Pr	10,1	9,9	8,8	18,6	—	7,0
	dias	40,0	40,0	40,0	1,0	—	40,0
05-01-2001	mm	2063,0	1329,4	<b>1546,9</b>	1958,4	—	1671,7
	Pr	16,1	18,5	<b>19,2</b>	31,0	—	19,9
	dias	75,0	75,0	<b>75,0</b>	75,0	—	40,0
29-03-2006	mm	—	256,2	103,5	85,6	<b>100,6</b>	499,5
	Pr	—	1,0	1,6	1,4	<b>1,4</b>	1,2
	dias	—	40,0	2,0	1,0	<b>2,0</b>	40,0

As intensidades da precipitação diária são em termos gerais mais elevadas nas estações de Extremo e Peneda. Os limiares críticos foram também determinados com base na intensidade de precipitação para as diferentes durações de precipitação acumulada (Figura 10.3).

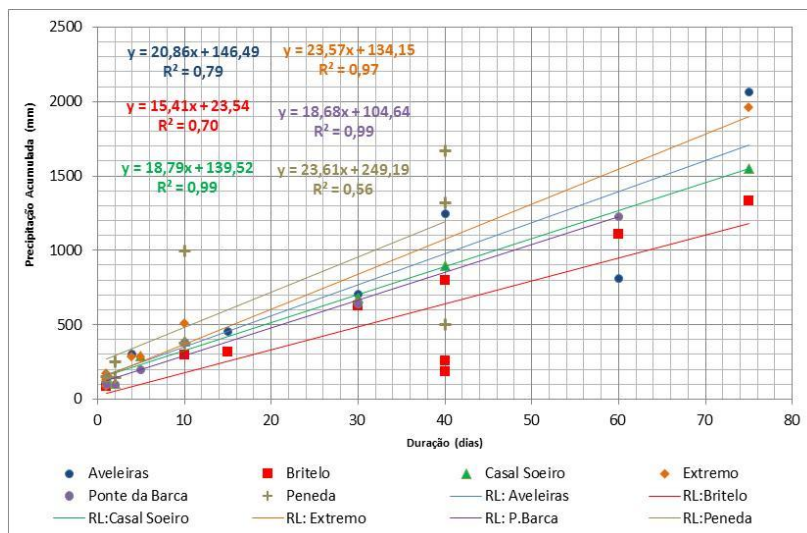


Figura 10.2. Limiares críticos de precipitação (quantidade/duração) para a bacia do Vez estabelecidos por regressão linear (RL).

Os resultados, derivados por regressão potencial mostram uma correlação mais elevada nas estações de Casal Soeiro e Ponte da Barca ( $R^2$  de 0,91 e 0,92, respetivamente). No entanto, os ajustamentos são mais baixos que os verificados em Casal Soeiro para a combinação crítica de quantidade/duração. A existência de falsos positivos, principalmente nas durações mais pequenas pode dever-se, sobretudo, ao reduzido número de eventos de cheias ou a deficiências no registo de ocorrências na BDC-N.

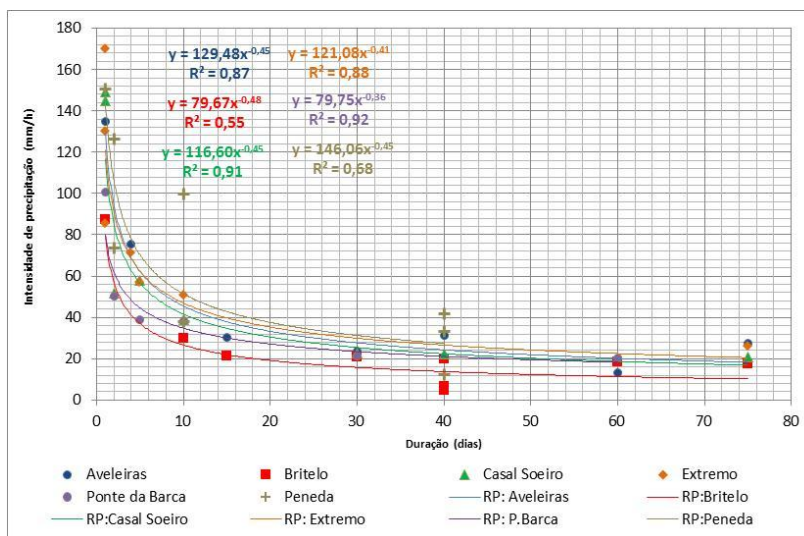


Figura 10.3. Limiares críticos de precipitação (intensidade/duração) para a bacia do Vez estabelecidos por regressão potencial (RP).

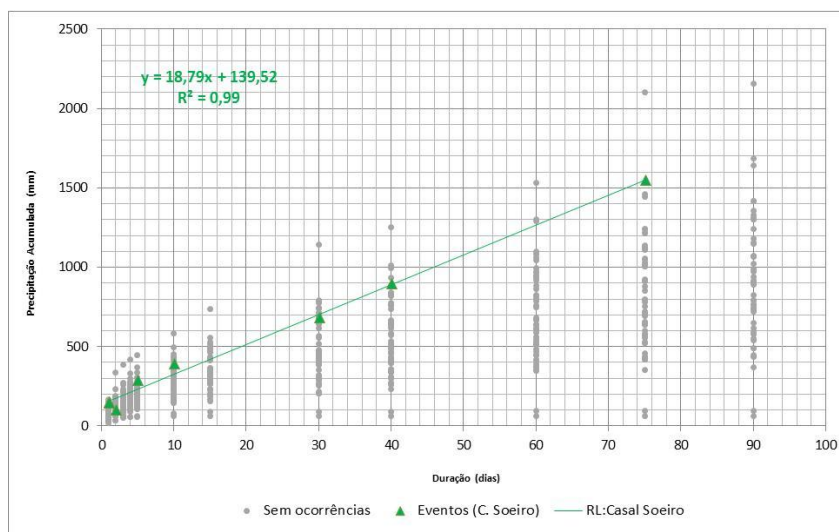


Figura 10.4. Limiar crítico de precipitação (quantidade/duração) com base nos dados de precipitação diária de Casal Soeiro.

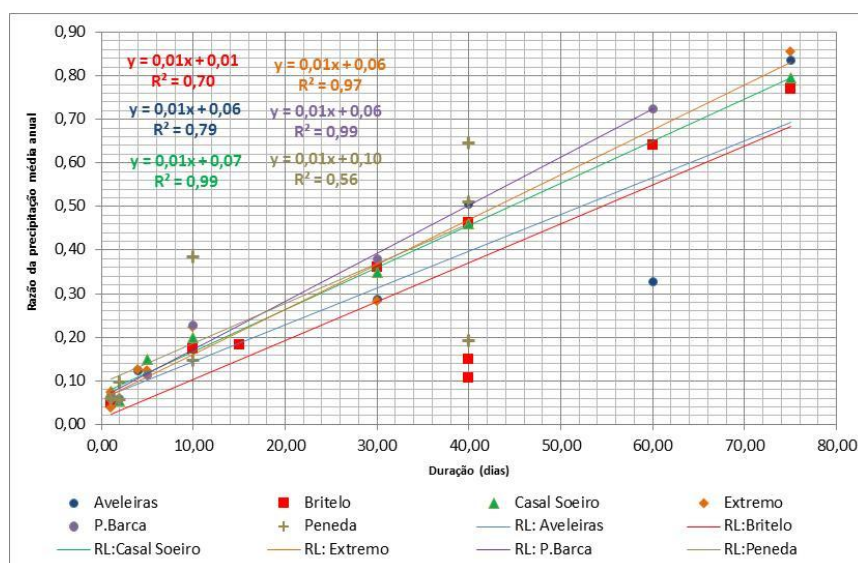
No Quadro 10.2 apresentam-se os valores da precipitação crítica ponderada pela precipitação média anual e na Figura 10.5 encontram-se os limiares estabelecidos com base nestes valores.

Os valores da precipitação antecedente acumulada para cada um dos eventos ponderados pela precipitação média anual são no geral mais elevados nas estações de Extremo, Peneda e o que significa que as condições críticas são mais difíceis de serem atingidas. (Figura 10.5 e Quadro 10.2).

*Quadro 10.2. Razão da precipitação antecedente acumulada em milímetros, ponderada pela PMA para as combinações críticas associadas aos eventos de cheias, na bacia do Vez, para as diferentes estações em análise.*

Eventos	Aveleiras	Britelo	Casal Soeiro	Extremo	P.Barca	Peneda
<b>11-02-1936</b>	—	0,64	—	—	0,72	—
<b>30-12-1981</b>	0,29	0,36	0,35	0,28	0,38	0,38
<b>08-10-1987</b>	0,05	0,05	0,08	0,06	0,06	0,10
<b>18-12-1989</b>	0,33	0,17	0,20	0,22	0,23	0,15
<b>09-01-1994</b>	0,18	0,18	0,15	0,12	0,11	0,06
<b>21-09-1999</b>	0,12	0,11	0,07	0,12	—	0,06
<b>07-12-2000</b>	0,50	0,46	0,46	0,07	—	0,51
<b>05-01-2001</b>	0,84	0,77	0,80	0,86	—	0,65
<b>29-03-2006</b>	—	0,15	0,05	0,04	0,06	0,19

A análise aos limiares críticos de quantidade/duração e intensidade/duração com base nos dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia mostram correlações menos significativas, com coeficientes de determinação mais baixos do que os limiares com base nos eventos de cheias. O coeficiente de determinação para a combinação crítica de quantidade/duração na estação de Casal Soeiro é de 0,53 e para a combinação crítica intensidade/duração é de 0,64 (Figura 10.6 e Figura 10.7).



*Figura 10.5. Limiares críticos de precipitação ponderada pela precipitação média anual estabelecidos por regressão linear (RL) para a bacia do Vez.*

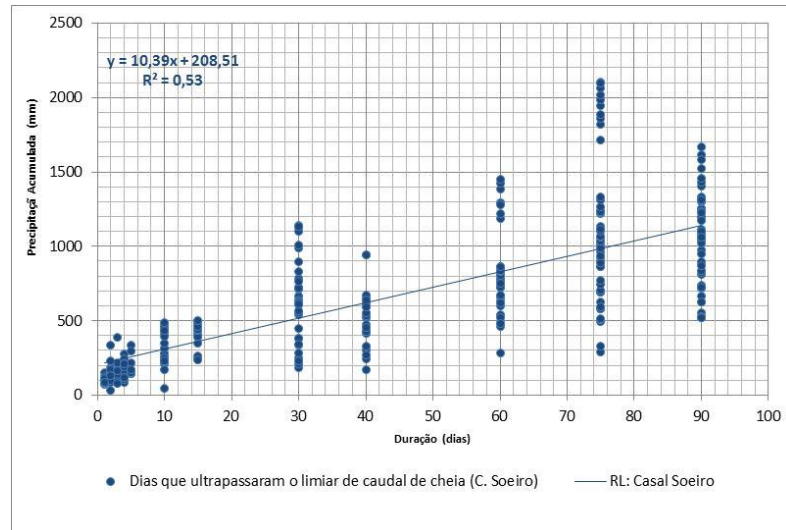


Figura 10.6. Limiares críticos de precipitação (quantidade/duração) para a bacia do Vez estabelecidos por regressão linear (RL) a partir dos dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia.

Na Figura 10.8 apresentam-se os limiares máximo e mínimo para a estação de Casal Soeiro, que definem as fronteiras de probabilidade de um evento de cheia acontecer, bem como, as respetivas equações. No Quadro 10.3 estão representados os quantitativos de precipitação para cada duração dos limiares máximo e mínimo, bem como, os valores de situação de pré-aviso que assinala que faltam 10% para alcançar a precipitação antecedente acumulada que ultrapassará o limiar mínimo para qualquer duração.

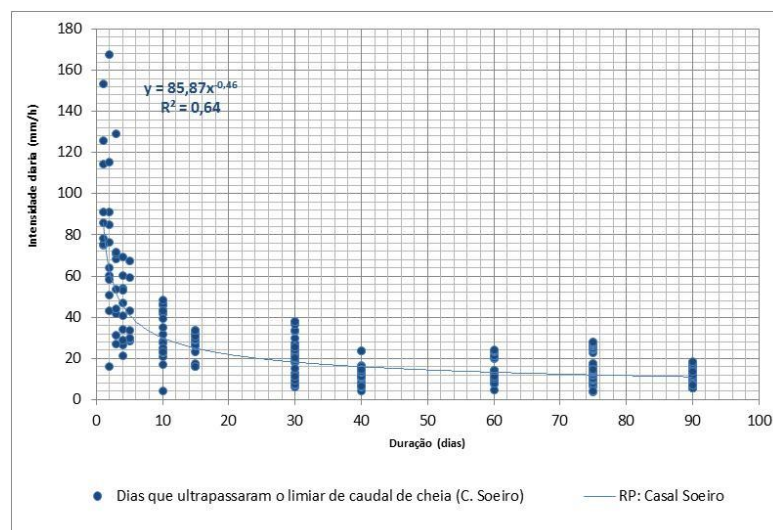


Figura 10.7. Limiares críticos de precipitação (intensidade/duração) para a bacia do Vez estabelecidos por regressão potencial (RP) a partir dos dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia.

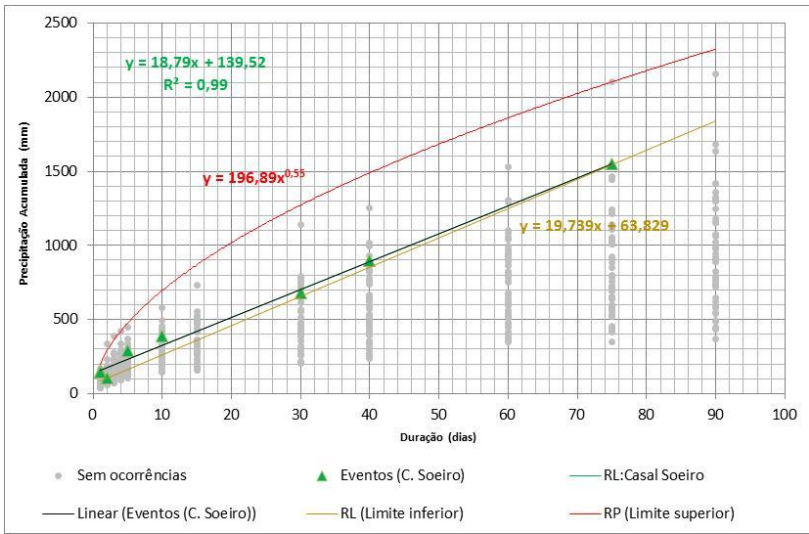


Figura 10.8. Limiares de precipitação mínima (dourado) e máximo (vermelho) na estação de Casal Soeiro para a ocorrência de cheias na bacia do Vez.

É possível também visualizar no Quadro 10.3 os eventos que estão abaixo e acima do limiar máximo. Neste caso, apenas dois eventos estão acima do limiar máximo. Para a validação dos limiares definidos, foram também utilizados os registos máximos de precipitação anual para as diferentes durações dos anos em que não se registaram eventos de cheias (pontos cinzentos nos gráficos).

Quadro 10.3. Valores de precipitação antecedente acumulada (mm) correspondentes aos limiares mínimo, máximo e de pré-aviso para diferentes durações em Casal Soeiro e relação entre o número de eventos de cheias localizados acima ou abaixo do limiar máximo.

Precipitação acumulada (dias)	Limite inferior	Limite superior	Limiar de Pré Aviso	N. de eventos abaixo do limiar máximo	N. de eventos acima do limiar máximo
1	83,7	118,9	75,3	0	2
2	<b>103,5</b>	188,6	93,2	1	0
3	123,1	247,1	110,8	0	0
4	142,8	<b>299,2</b>	128,6	0	0
5	162,6	347,2	146,3	2	0
10	261,2	550,7	235,1	1	0
15	359,8	721,4	323,8	0	0
30	655,6	<b>1142,5</b>	590,1	1	0
40	852,9	1386,1	767,6	1	0
60	1247,3	1815,7	1122,6	0	0
75	<b>1546,9</b>	<b>2102,8</b>	1392,2	1	0
90	1839,0	2378,4	1655,1	0	0

O Quadro 10.4 mostra para Casal Soeiro, entre 1960/61 a 2009/10, os eventos de precipitação ocorridos nos anos em que não se registaram eventos de cheias, mas que, ultrapassaram o limiar mínimo de precipitação antecedente acumulada para as várias durações temporais. Os anos com mais eventos de precipitação, mas que não registaram ocorrências de cheias, foram os anos de 1968/69 e 1985/86.

Em termos de média anual, com base nos 50 anos da série de Casal Soeiro, a probabilidade é de apenas 0,18% (Quadro 10.5). Estes resultados devem-se ao número significativo de falsos positivos que podem estar relacionados com o número reduzido de ocorrências de cheias, a deficiências no registo das mesmas na BDC-N bem como, ao facto de na base só estarem representadas as cheias que provocaram algum tipo de dano.

*Quadro 10.4. Número de eventos de precipitação que ultrapassaram o limiar mínimo de precipitação antecedente acumulada nos anos em que não se registaram eventos de cheias com base nos registos de precipitação em Casal Soeiro.*

Anos Hidrológicos	N. Eventos	Anos Hidrológicos	N. Eventos
60-61	3	83-84	1
61-62	5	84-85	6
62-63	2	85-86	7
63-64	4	86-87	1
64-65	1	88-89	0
65-66	5	90-91	2
66-67	2	91-92	2
67-68	1	92-93	1
68-69	7	94-95	3
69-70	4	95-96	1
70-71	1	96-97	2
71-72	2	97-98	4
72-73	3	99-00	3
73-74	3	01-02	0
74-75	3	02-03	0
75-76	1	03-04	0
76-77	4	04-05	0
77-78	3	06-07	1
78-79	4	07-08	0
79-80	4	08-09	0
80-81	2	09-10	0
82-83	1		



*Quadro 10.5. Probabilidade e um evento de precipitação corresponder a um evento de cheia depois de ultrapassado o limiar de precipitação mínimo.*

Casal Soeiro	
Eventos de cheias	9
Eventos pluviosos acima do limiar mínimo	99
Probabilidade de ocorrência de um evento acima do limiar mínimo (%)	9,1

### 10.1.2. Bacia do rio Este

No estudo dos limiares críticos na bacia do rio Este utilizaram-se os dados de precipitação diária antecedente para 18 eventos de precipitação entre 1932 a 2006 e para as estações de Barcelos, Caldelas, Fafe e Viatodos. No Quadro 10.6 podemos observar as combinações críticas (quantidade/duração), tendo por base o valor do período de retorno mais elevado, para cada evento de cheia e para cada estação. Não existe um padrão frequente podendo ocorrer cheias em diferentes combinações de quantidade/duração. Dos eventos com dados, apenas dois (21 de setembro de 1932 e 25 de novembro de 2006), estão classificados como cheias rápidas.

O evento de 21 de setembro de 1932 apresenta uma duração de um dia ou dois dias em todas as estações, sendo o período de retorno em Viatodos de 43 anos. O evento de 25 de novembro de 2006 apresenta períodos de retorno relativamente baixos e durações de 40 dias em Barcelos e Caldelas e de 10 dias em Viatodos. Esta situação pode dever-se a um evento de precipitação localizado no tempo e no espaço. As restantes ocorrências, caracterizadas como cheias progressivas que apresentam combinações críticas variadas que vão desde os 2 aos 90 dias.

Em termos de quantitativos de precipitação crítica, os valores são mais elevados em Fafe e Caldelas (loais que se encontram a altitudes mais elevadas). Os valores de precipitação crítica são bastante variáveis em alguns eventos, resultando em termos médios em 239 mm de diferença entre estações. Em relação à duração crítica, constata-se um maior acordo entre as estações. Assim, em 4 eventos o acerto é total e em outros 6 eventos o acordo na duração crítica verifica-se para três das quatro estações em estudo. Quanto aos valores dos períodos de retorno os resultados são também muito variáveis. A maior diferença regista-se no evento do



dia 19 de janeiro de 1939, cujo período de retorno na estação de Fafe é de 1559 anos, enquanto para as restantes estações, este valor varia entre os 5 e os 11 anos

Quadro 10.6. Combinações críticas (quantidade/duração) associados às ocorrências de cheias na bacia do rio Este para as diferentes estações. A negrito encontra-se a combinação crítica com o período de retorno mais elevado.

Eventos	Barcelos	Caldelas	Fafe	Viatodos	Eventos	Barcelos	Caldelas	Fafe	Viatodos		
21-09-1932	mm	62,0	56,0	78,2	134,2	20-01-1941	mm	74,8	603,3	109,0	87,6
	Pr	1,0	1,1	1,2	41,3		Pr	2,6	1,2	1,9	1,3
	dias	2,0	1,0	2,0	1,0		dias	1,0	90,0	2,0	2,0
11-12-1934	mm	199,4	186,4	273,0	159,2	14-12-1955	mm	402,5	421,2	90,5	380,6
	Pr	9,6	3,4	2,2	2,5		Pr	1,2	1,1	1,4	1,1
	dias	4,0	4,0	10,0	4,0		dias	60,0	60,0	2,0	60,0
19-11-1935	mm	273,8	109,2	12,0	109,4	09-12-1959	mm	501,2	512,6	552,0	500,6
	Pr	2,0	2,0	1,0	2,4		Pr	4,7	3,1	3,9	3,3
	dias	15,0	2,0	1,0	2,0		dias	30,0	30,0	30,0	30,0
26-12-1935	mm	308,2	365,5	471,0	781,5	31-03-1962	mm	250,6	321,2	382,0	313,6
	Pr	7,1	9,7	1,2	4,1		Pr	163,7	324,3	297,2	493,4
	dias	10,0	10,0	60,0	60,0		dias	3,0	3,0	3,0	3,0
19-01-1936	mm	646,6	712,7	646,6	1114,4	12-02-1966	mm	1085,5	1247,3	1235,3	1123,4
	Pr	1,6	14,5	1,6	10,2		Pr	7,5	8,1	8,0	6,4
	dias	75,0	30,0	75,0	75,0		dias	90,0	90,0	90,0	90,0
27-01-1937	mm	299,2	360,8	304,6	329,4	19-02-1966	mm	759,7	783,6	1076,8	1176,0
	Pr	2,6	3,1	3,1	2,7		Pr	14,5	9,6	14,5	7,8
	dias	15,0	15,0	10,0	15,0		dias	40,0	40,0	60,0	90,0
15-01-1939	mm	599,0	82,2	317,0	117,0	06-01-1974	mm	103,4	127,7	147,0	75,7
	Pr	2,3	2,3	656,1	3,1		Pr	2,5	3,6	4,8	1,0
	dias	60,0	1,0	2,0	2,0		dias	2,0	2,0	2,0	3,0
16-01-1939	mm	628,4	138,4	434,4	210,8	30-12-1981	mm	487,1	526,1	653,8	469,7
	Pr	2,6	5,3	933,7	8,3		Pr	4,2	3,4	7,9	13,5
	dias	60,0	2,0	3,0	4,0		dias	30,0	30,0	30,0	15,0
17-01-1939	mm	196,4	204,6	546,0	214,8	05-01-2001	mm	1216,5	1415,7	1286,5	1205,8
	Pr	4,5	11,0	1559,1	9,2		Pr	22,1	29,2	17,3	15,4
	dias	5,0	3,0	4,0	4,0		dias	75,0	75,0	75,0	75,0
01-11-1939	mm	202,3	203,1	67,6	189,8	25-11-2006	mm	402,5	358,3	—	190,6
	Pr	1,0	1,0	1,0	1,0		Pr	1,6	1,1	—	1,2
	dias	30,0	30,0	4,0	30,0		dias	40,0	40,0	—	10,0

Nas Figura 10.9 e Figura 10.10 apresentam-se os limiares críticos de quantidade/duração por regressão linear e intensidade/duração por regressão potencial, respetivamente. Deste modo, os limiares críticos (quantidade/duração) apresentam coeficientes de determinação ( $R^2$ ) que variam entre os 0,72 em Fafe e 0,96 em Viatodos. Barcelos apresenta o declive da reta mais baixo. Viatodos é a estação que apresenta um melhor ajustamento à regressão linear, sendo a equação de  $y=12,15x + 134,55$  (Figura 10.9).

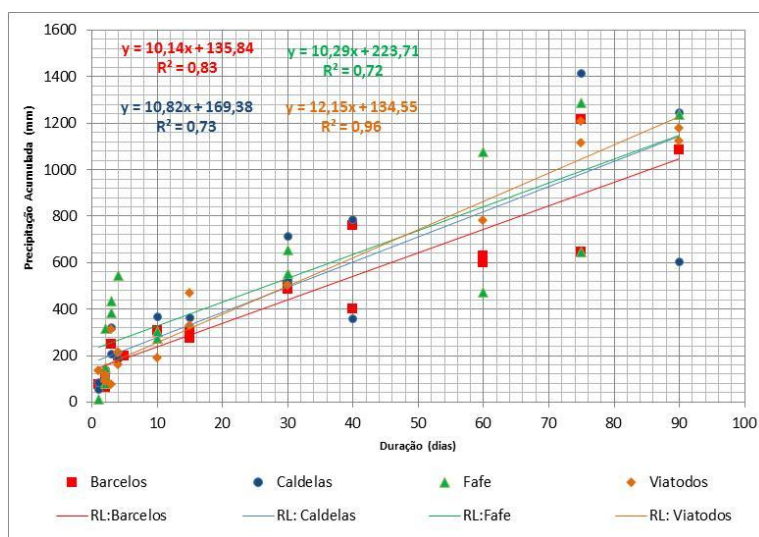


Figura 10.9. Limiares críticos de precipitação (quantidade/duração) para a bacia do Este estabelecidos por regressão linear (RL).

Os limiares críticos determinados com base na intensidade de precipitação para as diferentes durações de precipitação acumulada apresentam coeficientes mais baixos, que variam entre 0,47 em Fafe e 0,84 em Barcelos. Os resultados derivados por regressão potencial mostram um melhor ajustamento em Caldelas e Barcelos (Figura 10.10). Apesar disto, os ajustamentos são mais baixos do que os verificados em Viatodos para a combinação crítica de quantidade/duração.

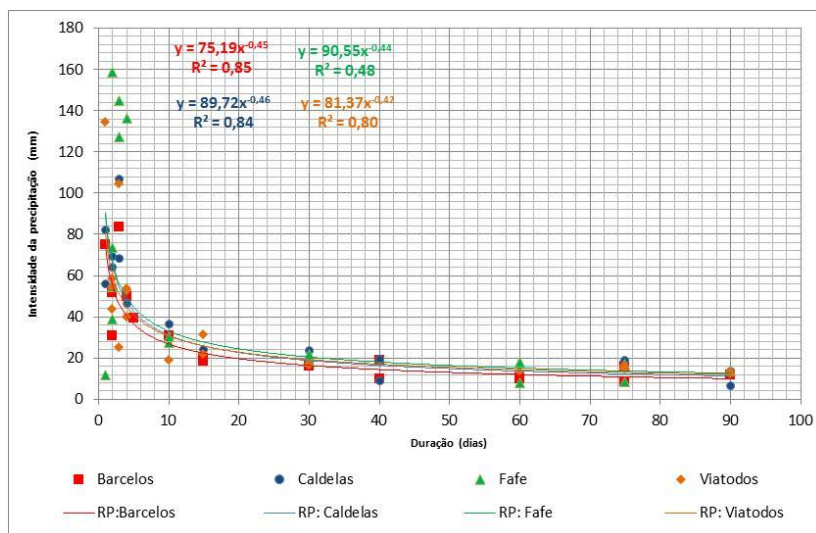


Figura 10.10. Limiares críticos de precipitação (intensidade/duração) para a bacia do Este estabelecidos por regressão potencial (RP).

Na Figura 10.11 podemos visualizar o limiar estabelecido para Viatodos por regressão linear e a validação realizada através dos valores máximos de precipitação acumulada para as

diferentes durações (1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 40, 60, 75 e 90 dias) dos anos hidrológicos da série de dados em estudo (1931/32 a 2006/2007) em que não se registaram eventos de cheias. Os resultados mostram a existência de muitos falsos positivos, possivelmente relacionados com o reduzido número de eventos ou lacunas da BDC-N.

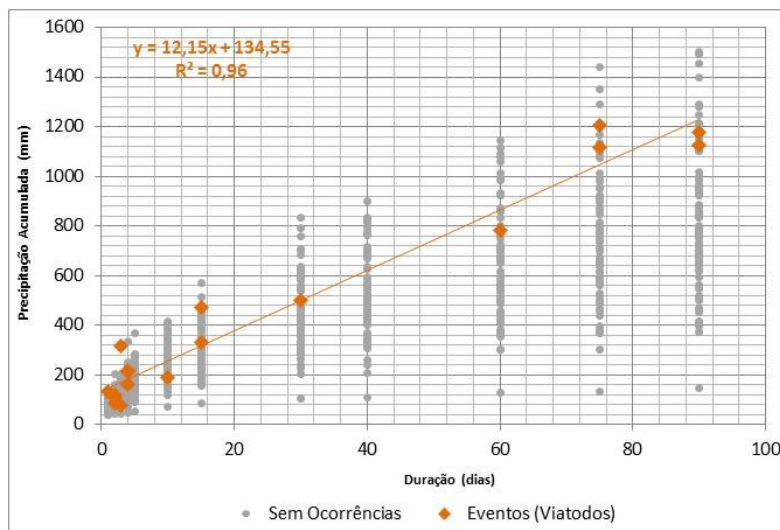


Figura 10.11. Limiar crítico de precipitação (quantidade/duração) com base nos dados de precipitação diária de Viatodos.

Quadro 10.7. Razão da precipitação antecedente acumulada em milímetros, ponderada pela PMA para as combinações críticas associadas aos eventos de cheias, na bacia do Este, para as diferentes estações em análise.

Eventos	Caldelas	Barcelos	Fafe	Viatodos
21-09-1932	0,03	0,04	0,05	0,08
11-12-1934	0,11	0,12	0,16	0,09
19-11-1935	0,06	0,17	0,01	0,06
26-12-1935	0,21	0,19	0,28	0,46
19-01-1936	0,41	0,40	0,38	0,66
27-01-1937	0,21	0,19	0,18	0,19
15-01-1939	0,05	0,37	0,19	0,07
16-01-1939	0,08	0,39	0,26	0,12
17-01-1939	0,12	0,12	0,32	0,13
20-01-1941	0,35	0,05	0,06	0,05
09-12-1959	0,30	0,31	0,33	0,30
31-03-1962	0,18	0,16	0,23	0,19
12-02-1966	0,72	0,67	0,73	0,66
19-02-1966	0,45	0,47	0,64	0,70
06-01-1974	0,07	0,06	0,09	0,04
30-12-1981	0,30	0,30	0,39	0,28
05-01-2001	0,82	0,76	0,76	0,71
25-11-2006	0,21	0,25	—	0,11

Os valores de precipitação crítica ponderada pela precipitação média anual com o objetivo de diluir as diferenças provocadas pela altitude a que se situam as estações encontram-se no Quadro 10.7 e Figura 10.12. Os valores da precipitação antecedente acumulada para cada um dos eventos ponderados pela precipitação média anual são, como seriam de esperar, em geral mais elevados na estação de Fafe o que significa que as condições críticas são mais difíceis de serem atingidas nesta estação.

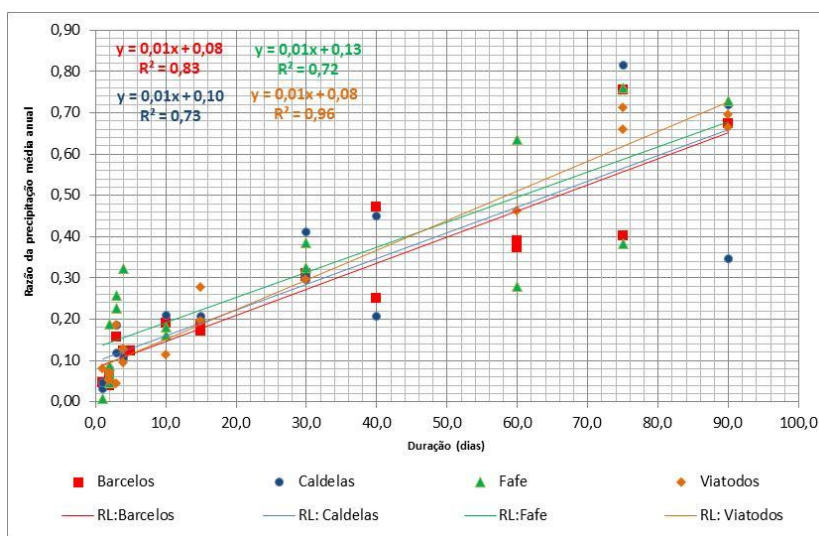


Figura 10.12. Limiares críticos de precipitação ponderada pela precipitação média anual estabelecidos por regressão linear (RL) para a bacia do Este.

A análise aos limiares críticos de quantidade/duração e intensidade/duração com base nos dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia exibem correlações significativas, mas com coeficientes de determinação mais baixos do que os limiares com base nos eventos de cheias.

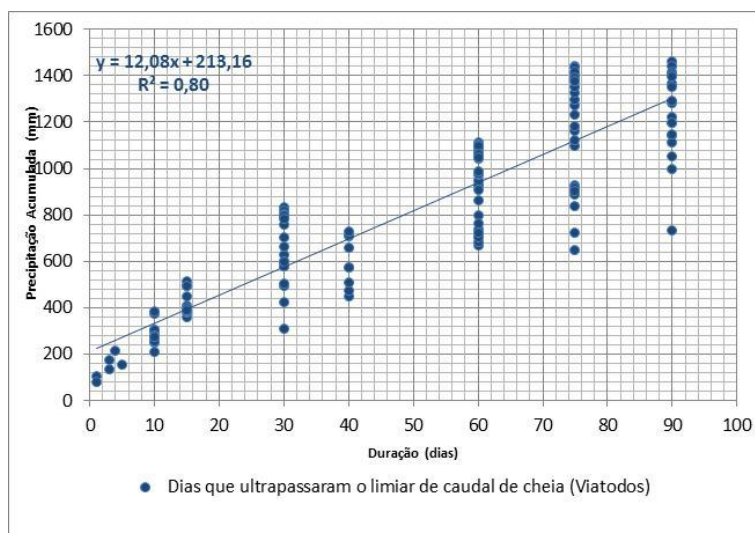


Figura 10.13. Limiares críticos de precipitação (quantidade/duração) para a bacia do Este estabelecidos por regressão linear (RL) a partir dos dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia.

O coeficiente de determinação para a combinação crítica de quantidade/duração na estação de Viatodos é de 0,80 e para a combinação crítica intensidade/duração é de 0,75 (Figura 10.13 e Figura 10.14).

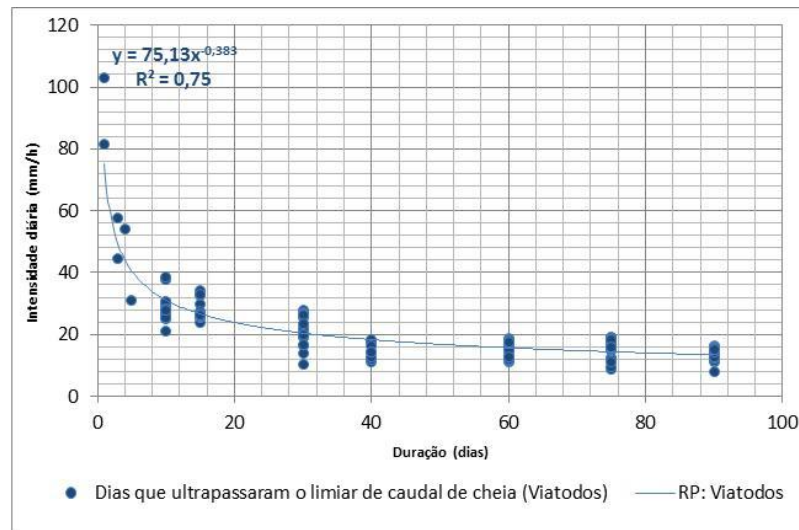


Figura 10.14. Limiares críticos de precipitação (intensidade/duração) para a bacia do Este estabelecidos por regressão potencial (RP) a partir dos dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia.

Os limiares máximo e mínimo e as respectivas equações, que definem os limites de probabilidade de um evento de cheia ocorrer, para a estação de Viatodos, estão patentes na Figura 10.15.

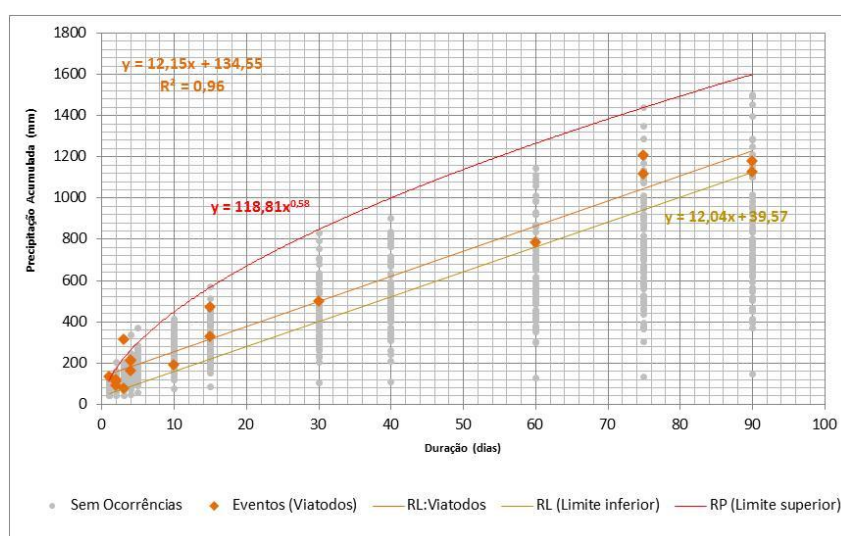


Figura 10.15. Limiares de precipitação mínima (dourado) e máxima (vermelho) na estação de Viatodos para a ocorrência de cheias na bacia do Este.



*Quadro 10.8. Valores de precipitação antecedente acumulada (mm) correspondentes aos limiares mínimo, máximo e de pré-aviso para diferentes durações em Viatodos e relação entre o número de eventos de cheias localizadas acima ou abaixo do limiar máximo.*

Precipitação acumulada (dias)	Limite inferior	Limite superior	Limiar de Pré Aviso	N. de eventos abaixo do limiar máximo	N. de eventos acima do limiar máximo
1	51,6	118,8	60,5	0	1
2	63,7	177,3	64,3	3	0
3	75,7	224,1	68,1	1	1
4	87,7	264,7	71,9	3	0
5	99,8	301,1	75,7	0	0
10	160,0	449,4	94,8	1	0
15	220,2	568,0	113,8	2	0
30	400,9	847,9	170,8	1	0
40	521,3	1001,2	208,9	0	0
60	762,2	1265,5	284,9	1	0
75	942,8	1439,4	342,0	2	0
90	1123,4	1599,6	399,0	2	0

No Quadro 10.8 estão patentes os valores de precipitação para cada duração dos limiares máximo e mínimo, os valores de situação de pré-aviso, bem como, os eventos que estão abaixo ou acima do limiar máximo.

*Quadro 10.9. Número de eventos de precipitação que ultrapassaram o limiar mínimo de precipitação antecedente acumulada nos anos em que não se registaram eventos de cheias com base nos registos de precipitação em Viatodos.*

Anos Hidrológicos	N. Eventos	Anos Hidrológicos	N. Eventos	Anos Hidrológicos	N. Eventos
32-33	3	60-61	6	85-86	7
33-34	2	62-63	4	86-87	8
37-38	6	63-64	2	87-88	5
41-42	2	64-65	3	88-89	3
42-43	6	66-67	5	89-90	5
43-44	4	67-68	3	90-91	6
44-45	2	68-69	10	91-92	4
45-46	5	69-70	4	92-93	5
46-47	7	70-71	2	93-94	3
47-48	6	71-72	4	94-95	3
48-49	4	72-73	5	95-96	2
49-50	3	74-75	4	96-97	7
50-51	5	75-76	1	97-98	6
51-52	5	76-77	9	98-99	2
52-53	3	77-78	4	99-00	3
53-54	3	78-79	2	01-02	1
54-55	5	79-80	2	02-03	4
55-56	7	80-81	4	03-04	3
56-57	3	82-83	5	04-05	0
57-58	7	83-84	6	05-06	2
58-59	7	84-85	5		

Neste caso, 16 eventos de cheia situam-se abaixo do limiar máximo e 2 encontram-se acima. Os valores do limiar mínimo são relativamente baixos para as durações até 3 dias. Esta situação deve-se ao facto de ocorrerem eventos de cheia com períodos de retorno baixos. Como resultado disto, foram contabilizados 264 eventos de precipitação que ultrapassaram o limiar mínimo de precipitação antecedente acumulada nos anos em que não se registaram eventos de cheias com base nos registos de precipitação em Viatodos entre os anos hidrológicos de 1931/32 a 2005/06 (Quadro 10.9 e Quadro 10.10). Os anos com mais eventos de precipitação, mas que não registaram cheias, foram os anos de 1968/69 e 1976/77. O ano de 2004/05 foi o único que não registou nenhum evento de precipitação acima do limiar mínimo (Quadro 10.9).

A probabilidade de um determinado valor de precipitação antecedente acumulada, ultrapassar o limiar mínimo, corresponder a um evento de cheia, com base nos dados de Viatodos, é de apenas 7% (Quadro 10.10). Estes resultados devem-se ao número significativo de falsos positivos mas também os eventos de cheia com períodos de retorno baixos que conduzem a que os valores do limiar mínimo para durações mais pequenas sejam relativamente frequentes durante toda a série.

*Quadro 10.10. Probabilidade de um evento de precipitação corresponder a um evento de cheia depois de ultrapassado o limiar de precipitação mínimo na estação de Viatodos.*

Viatodos	
Eventos de cheias	18
Eventos pluviosos acima do limiar mínimo	264
Probabilidade de ocorrência de um evento acima do limiar mínimo (%)	6,8

### 10.1.3. Bacia do rio Corgo

Na bacia do rio Corgo para a elaboração dos limiares críticos foram utilizadas 30 eventos de cheia, todos classificados como cheias progressivas, para as estações de Amarante, Lamas de Alvadia, Lamas de Olo, Lixa do Alvão, Santa Marta da Montanha e Torre do Pinhão. O Quadro 10.11 apresenta as combinações críticas (quantidade/duração), tendo por base o valor do período de retorno mais elevado. As combinações críticas ocorrem dos 2 aos 90 dias, podendo



sucedem cheias em diferentes combinações de quantidade/duração. Quanto à duração crítica verifica-se um maior acordo entre estações, nomeadamente em 6 eventos, o acordo é total e em 7 o acordo é total em 5 das 6 estações.

*Quadro 10.11. Combinações críticas (quantidade/duração) associados às ocorrências de cheias na bacia do rio Corgo para as diferentes estações. A negrito encontra-se a combinação crítica com o período de retorno mais elevado.*

Ocorrências		Amarante	Lamas de Alvalá	Lamas de Olo	Lixa do Alvão	S.M. Montanha	Torre do Pinhão
11-12-1934	mm	140,4	<b>263,0</b>	—	—	—	135,8
	Pr	5,7	<b>7,9</b>	—	—	—	1,6
	dias	3,0	<b>3,0</b>	—	—	—	5,0
28-02-1935	mm	673,8	<b>254,2</b>	—	—	—	129,4
	Pr	2,6	<b>19,4</b>	—	—	—	2,7
	dias	90,0	<b>2,0</b>	—	—	—	3,0
27-12-1935	mm	293,6	<b>359,2</b>	—	—	—	266,0
	Pr	8,6	<b>17,5</b>	—	—	—	3,4
	dias	10,0	<b>4,0</b>	—	—	—	10,0
29-01-1936	mm	<b>749,0</b>	1767,4	—	—	—	781,6
	Pr	<b>29,5</b>	15,9	—	—	—	18,9
	dias	<b>40,0</b>	90,0	—	—	—	40,0
19-02-1936	mm	<b>983,2</b>	1468,8	—	—	—	1007,0
	Pr	<b>38,2</b>	21,9	—	—	—	22,6
	dias	<b>60,0</b>	60,0	—	—	—	60,0
24-01-1937	mm	91,8	<b>144,0</b>	—	—	—	97,8
	Pr	2,4	<b>7,5</b>	—	—	—	1,2
	dias	2,0	<b>1,0</b>	—	—	—	4,0
21-11-1938	mm	45,8	84,2	—	—	<b>126,2</b>	32,6
	Pr	1,0	1,6	—	—	<b>1,9</b>	1,0
	dias	2,0	1,0	—	—	<b>2,0</b>	2,0
16-01-1939	mm	201,0	126,4	—	—	<b>413,0</b>	241,8
	Pr	46,6	4,5	—	—	<b>94,6</b>	21,2
	dias	3,0	1,0	—	—	<b>4,0</b>	4,0
05-01-1940	mm	104,4	912,4	—	—	73,0	120,8
	Pr	1,5	1,7	—	—	1,4	1,3
	dias	4,0	90,0	—	—	1,0	5,0
12-01-1943	mm	71,0	178,6	—	—	75,2	<b>116,8</b>
	Pr	1,4	3,8	—	—	1,5	<b>4,3</b>
	dias	2,0	2,0	—	—	1,0	2,0
19-12-1945	mm	73,6	120,0	—	—	—	<b>161,6</b>
	Pr	1,4	1,5	—	—	—	6,0
	dias	2,0	2,0	—	—	—	3,0
26-12-1945	mm	236,0	534,0	—	—	—	<b>366,8</b>
	Pr	3,4	8,9	—	—	—	12,3
	dias	10,0	10,0	—	—	—	10,0
05-02-1947	mm	131,2	852,0	<b>1046,2</b>	550,8	873,2	139,6
	Pr	1,7	1,5	<b>2,8</b>	1,3	1,8	2,2
	dias	5,0	90,0	<b>90,0</b>	90,0	90,0	4,0
22-02-1947	mm	408,0	817,0	1307,4	795,5	1174,4	<b>492,6</b>
	Pr	3,6	1,4	4,4	2,4	4,2	5,2
	dias	30,0	90,0	90,0	90,0	90,0	30,0
28-01-1948	mm	394,1	460,0	<b>705,4</b>	393,7	701,9	428,2
	Pr	3,2	1,2	<b>4,2</b>	1,9	6,1	3,3
	dias	30,0	40,0	<b>30,0</b>	30,0	30,0	30,0
29-01-1948	mm	493,3	486,0	119,6	526,8	735,7	<b>184,4</b>
	Pr	4,1	1,3	10,9	2,4	7,5	5,5
	dias	40,0	40,0	1,0	40,0	30,0	<b>4,0</b>
12-12-1948	mm	120,6	168,0	176,4	134,5	<b>237,4</b>	66,2
	Pr	1,5	1,2	2,0	1,3	<b>2,6</b>	2,5
	dias	5,0	5,0	4,0	5,0	5,0	1,0
07-01-1951	mm	346,0	528,0	<b>799,5</b>	385,2	664,0	368,4
	Pr	1,2	1,2	<b>2,5</b>	1,2	1,7	1,3
	dias	60,0	60,0	<b>60,0</b>	60,0	60,0	60,0
28-01-1951	mm	475,4	719,0	<b>1070,3</b>	510,1	849,2	476,6
	Pr	1,4	1,2	<b>2,9</b>	1,3	1,7	1,4
	dias	90,0	90,0	<b>90,0</b>	90,0	90,0	90,0
05-02-1951	mm	515,2	738,0	<b>1211,7</b>	547,6	939,0	567,6
	Pr	1,5	1,3	<b>3,7</b>	1,3	2,1	1,7
	dias	90,0	90,0	<b>90,0</b>	90,0	90,0	90,0

Ocorrências		Amarante	Lamas de Alvalá	Lamas de Olo	Lixa do Alvão	S.M. Montanha	Torre do Pinhão
21-02-1951	mm	592,6	805,2	397,6	598,5	175,2	580,8
	Pr	1,9	1,4	15,8	1,5	2,6	1,8
	dias	90,0	90,0	5,0	90,0	3,0	90,0
19-01-1955	mm	339,9	308,9	302,6	379,4	540,8	324,1
	Pr	6,5	1,7	2,4	3,2	21,6	3,6
	dias	15,0	10,0	10,0	15,0	10,0	15,0
29-03-1956	mm	249,9	201,8	179,4	240,2	269,3	304,1
	Pr	2,2	1,0	1,4	1,5	1,2	3,0
	dias	15,0	15,0	10,0	15,0	15,0	15,0
09-12-1959	mm	350,3	626,8	495,0	546,6	451,4	133,2
	Pr	2,3	2,7	2,2	4,1	1,7	7,8
	dias	30,0	30,0	30,0	30,0	30,0	2,0
02-04-1962	mm	157,2	—	—	224,1	233,6	115,8
	Pr	10,0	—	—	23,0	30,0	4,2
	dias	3,0	—	—	2,0	2,0	2,0
16-02-1963	mm	539,6	875,3	290,8	613,4	625,8	638,6
	Pr	2,6	2,6	104,5	2,2	1,5	3,5
	dias	60,0	60,0	2,0	60,0	60,0	60,0
17-12-1968	mm	111,7	228,4	195,8	137,6	138,1	84,6
	Pr	2,4	4,4	4,4	2,1	1,5	1,6
	dias	3,0	3,0	3,0	3,0	3,0	2,0
13-02-1979	mm	1176,7	2063,5	986,0	1488,0	1351,1	1226,0
	Pr	50,6	73,0	2,9	41,3	11,9	35,4
	dias	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0	75,0
09-01-1996	mm	429,1	1216,5	935,6	980,4	844,9	444,5
	Pr	21,8	8,3	9,5	9,4	14,7	13,4
	dias	15,0	60,0	30,0	60,0	30,0	15,0
26-01-2001	mm	1180,1	—	—	—	1830,8	171,4
	Pr	26,2	—	—	—	36,5	4,2
	dias	90,0	—	—	—	90,0	4,0

As estações de Lamas de Olo e Santa Marta da Montanha apresentam os valores mais elevados em termos de período de retorno. A diferença média entre as estações é de 16 anos. A maior diferença acontece no dia 16 de fevereiro de 1963. Na estação de Lamas de Olo a recorrência é de 105 anos e nas restantes estações varia entre 2 e 4 anos (Quadro 10.11).

Nas Figura 10.16 e Figura 10.17 estão patentes os limiares críticos: quantidade/duração regressão linear e intensidade/duração por regressão potencial. Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) variam entre 0,37 para Lixa do Alvão e 0,88 para Lamas de Olo para os limiares críticos de quantidade/duração. As estações de Lamas de Olo e Santa Marta da Montanha são as que apresentam um melhor ajustamento à regressão do tipo linear. A estação escolhida para a restante análise foi então Lamas do Olo, sendo a equação determinada por regressão linear de  $y=10,51x + 231,49$  (Figura 10.16).

Os limiares críticos determinados com base na intensidade de precipitação para as diferentes durações de precipitação acumulada derivados por regressão potencial mostram uma correlação mais elevada nas estações de Lamas de Alvalá e Lamas de Olo ( $R^2$  de 0,85 e 0,87, respetivamente). As intensidades da precipitação diária são em termos gerais mais elevadas nestas duas estações e mais baixas em Amarante (Figura 10.17).

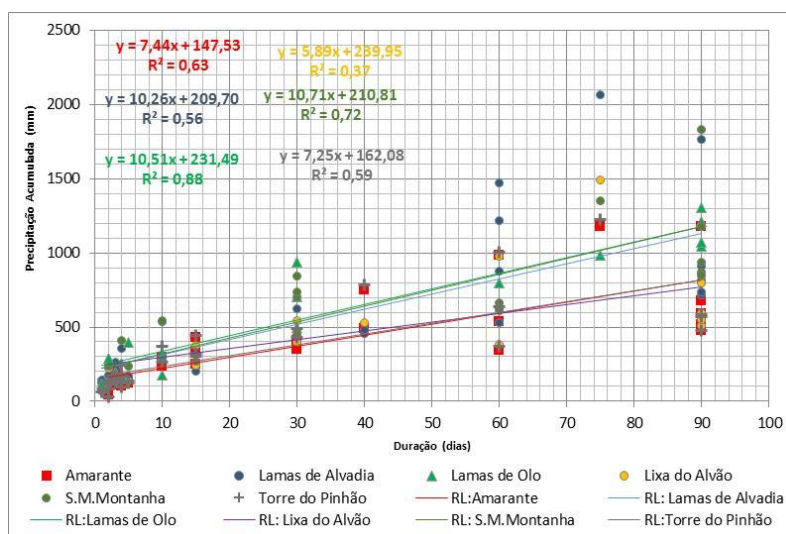


Figura 10.16. Limiares críticos de precipitação (quantidade/duração) para a bacia do Corgo estabelecidos por regressão linear (RL) com todos os eventos por estação.

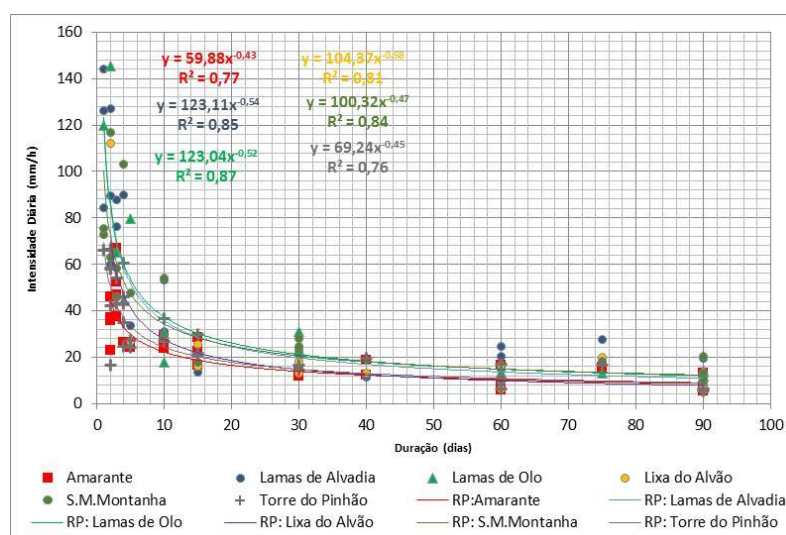


Figura 10.17. Limiares críticos de precipitação (intensidade/duração) para a bacia do Este estabelecidos por regressão potencial (RP) com todos os eventos por estação.

Na Figura 10.18 podemos observar os valores máximos de precipitação acumulada para as diferentes durações (1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 40, 60, 75 e 90 dias) dos anos hidrológicos da série de Lamas de Olo entre 1947/48 a 1997/1998, em que não se registaram eventos de cheias. A comparação destes valores com os eventos de cheias mostra a existência de falsos positivos (11% dos valores máximos), principalmente para durações entre os 10 e os 40 dias.

Na análise dos valores da precipitação crítica ponderada pela precipitação média anual podemos verificar que os valores são, em geral, mais elevados na estação de Lamas de Olo e mais baixos em Amarante (Quadro 10.12 e Figura 10.19).

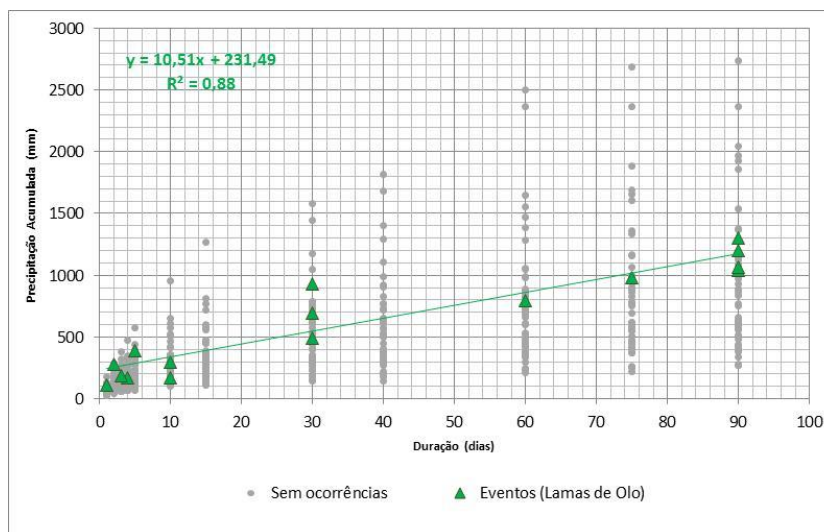


Figura 10.18. Limiar crítico de precipitação (quantidade/duração) com base nos dados de precipitação diária de Lamas de Olo.

Quadro 10.12. Razão da precipitação antecedente acumulada em milímetros, ponderada pela PMA para as combinações críticas associadas aos eventos de cheias, na bacia do Corgo para as diferentes estações em análise.

Eventos	Amarante	Lamas de Olo	Lamas de Alvadia	Lixa do Alvão	S. M. Montanha	Torre do Pinhão
05-02-1947	0,10	0,65	0,44	0,39	0,48	0,12
22-02-1947	0,32	0,81	0,42	0,57	0,65	0,41
28-01-1948	0,31	0,44	0,24	0,28	0,39	0,36
29-01-1948	0,39	0,07	0,25	0,37	0,41	0,15
12-12-1948	0,09	0,11	0,09	0,10	0,13	0,06
07-01-1951	0,27	0,50	0,27	0,27	0,37	0,31
28-01-1951	0,37	0,67	0,37	0,36	0,47	0,40
05-02-1951	0,40	0,75	0,38	0,39	0,52	0,48
21-02-1951	0,46	0,25	0,41	0,43	0,10	0,49
19-01-1955	0,27	0,19	0,16	0,27	0,30	0,27
29-03-1956	0,20	0,11	0,10	0,17	0,15	0,26
09-12-1959	0,27	0,31	0,32	0,39	0,25	0,11
16-02-1963	0,42	0,18	0,45	0,44	0,35	0,54
17-12-1968	0,09	0,12	0,12	0,10	0,08	0,07
13-02-1979	0,92	0,61	1,06	1,06	0,75	1,03
09-01-1996	0,34	0,58	0,62	0,70	0,47	0,37

A precipitação necessária para desencadear cheias é superior em Lamas de Olo do que, por exemplo, em Amarante, uma vez que os valores médios anuais em Lamas do Olo são também superiores aos de Amarante. Em Lamas de Olo, a partir dos 30 dias a reta de regressão linear afasta-se das restantes, demonstrando uma maior dificuldade em atingir os respetivos limiares críticos (Figura 10.19).



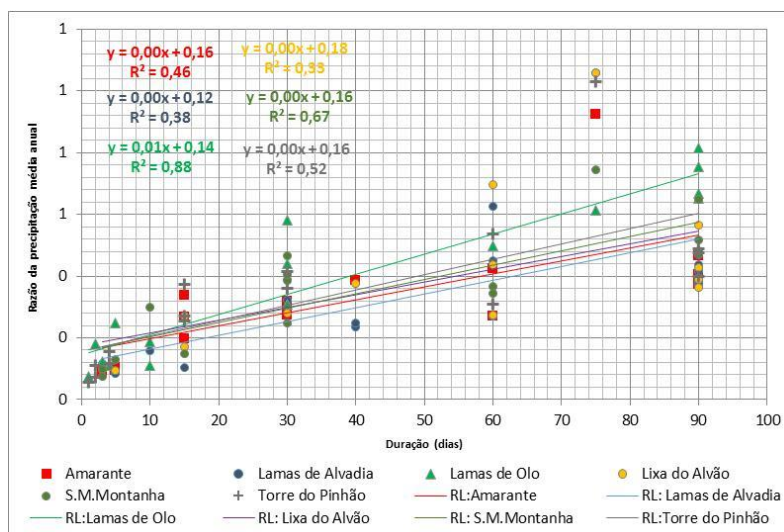


Figura 10.19. Limiares críticos de precipitação ponderada pela precipitação média anual estabelecidos por regressão linear (RL) para a bacia do Corgo.

A análise aos limiares críticos de quantidade/duração e intensidade/duração com base nos dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia na estação hidrométrica de Ermida (Corgo) mostram correlações menos significativas, com coeficientes de determinação mais baixos do que os limiares com base nos eventos de cheias, mostrando assim um pior ajustamento do que estes últimos limiares.

O coeficiente de determinação para a combinação crítica de quantidade/duração em Torre do Pinhão é de 0,66 e para a combinação crítica intensidade/duração é de 0,73. Estes resultados são explicados pelo facto de em alguns dias cujo limiar de caudal de cheia é atingido, o caudal ser elevado apesar de já não se verificar precipitação, em situações de precipitações prolongadas (Figura 10.20 e Figura 10.21).

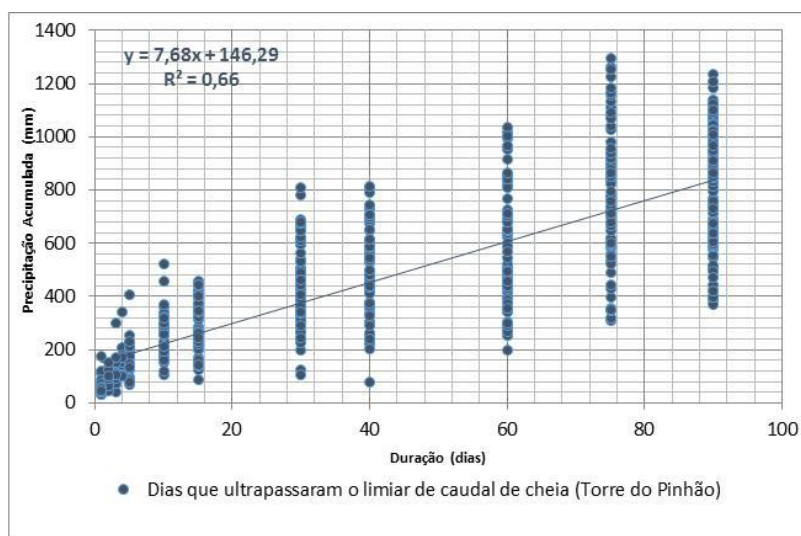


Figura 10.20. Limiares críticos de precipitação (quantidade/duração) para a bacia do Corgo estabelecidos por regressão linear (RL) a partir dos dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia.

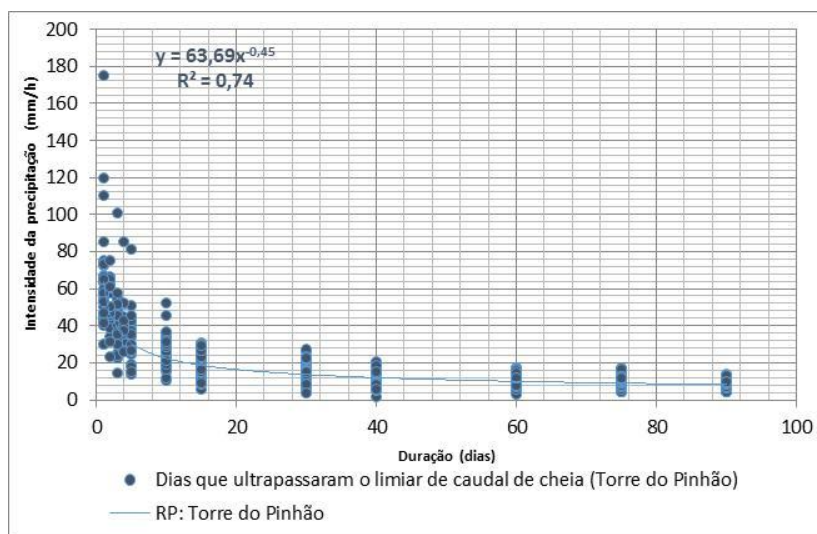


Figura 10.21. Limiares críticos de precipitação (intensidade/duração) para a bacia do Corgo estabelecidos por regressão potencial (RP) a partir dos dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia.

Na Figura 10.22 apresentam-se os limiares máximo e mínimo para a estação de Lamas de Olo, que definem as fronteiras de probabilidade de um evento de cheia acontecer, bem como as respetivas equações. No Quadro 10.13, para além dos quantitativos de precipitação para cada duração dos limiares máximo e mínimo, estão presentes os valores em situação de pré-aviso que sinaliza que faltam 10% para alcançar a precipitação antecedente acumulada que ultrapassará o limiar mínimo para qualquer duração. Podemos também visualizar no Quadro 10.13 que apenas um evento não está abaixo do limiar máximo.

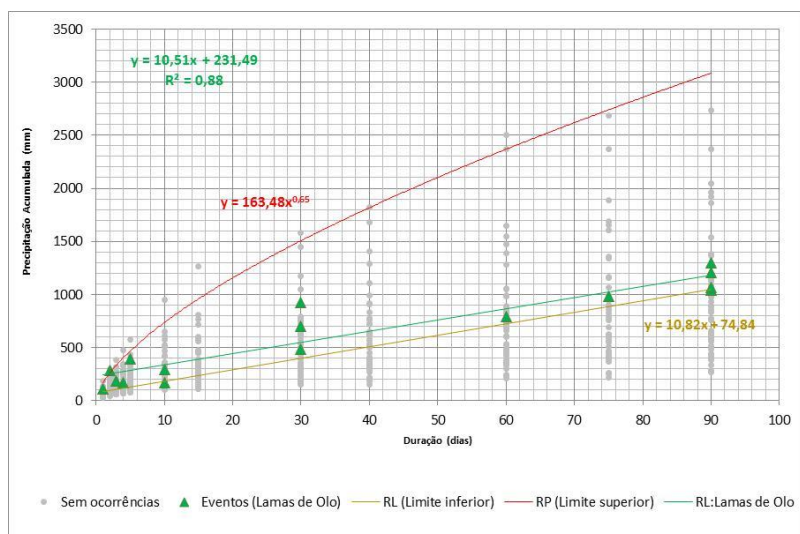


Figura 10.22. Limiares de precipitação mínima (dourado) e máxima (vermelho) na estação de Lamas de Olo para a ocorrência de cheias na bacia do Corgo.

*Quadro 10.13. Valores de precipitação antecedente acumulada (mm) correspondentes aos limiares mínimo, máximo e de pré-aviso para diferentes durações em Lamas de Olo e relação entre o número de eventos de cheias localizados acima ou abaixo do limiar máximo.*

Precipitação acumulada (dias)	Limite inferior	Limite superior	Limiar de Pré Aviso	N. de eventos abaixo do limiar máximo	N. de eventos acima do limiar máximo
1	85,9	163,5	77,3	1	0
2	96,7	257,0	87,0	0	1
3	107,6	334,9	96,8	1	0
4	118,4	404,2	106,6	1	0
5	179,4	467,5	116,3	1	0
10	183,4	735,1	161,5	2	0
15	237,6	957,9	213,8	0	0
30	400,1	1506,2	360,1	3	0
40	508,5	1817,6	457,6	0	0
60	725,2	2368,5	652,6	1	0
75	887,7	2739,6	798,9	1	0
90	1046,2	3086,0	941,6	4	0

Na validação dos limiares definidos, foram utilizados os registos máximos de precipitação anual para as diferentes durações dos anos em que não se registaram eventos de cheias (pontos cinzentos nos gráficos).

*Quadro 10.14. Número de eventos de precipitação que ultrapassaram o limiar mínimo de precipitação antecedente acumulada nos anos em que não se registaram eventos de cheias com base nos registos de precipitação em Lamas de Olo.*

Anos Hidrológicos	N. Eventos	Anos Hidrológicos	N. Eventos
49-50	2	76-77	6
51-52	3	77-78	5
52-53	1	79-80	0
53-54	1	80-81	0
56-57	0	81-82	0
57-58	0	82-83	0
58-59	3	83-84	0
60-61	13	84-85	0
61-62	0	85-86	8
63-64	1	86-87	1
64-65	5	87-88	2
65-66	5	88-89	1
66-67	7	89-90	4
67-68	5	90-91	0
69-70	3	91-92	0
70-71	2	92-93	3
71-72	3	93-94	6
72-73	1	94-95	5
73-74	2	96-97	2
74-75	0	97-98	3
75-76	0		



Assim, entre 1946/47 a 1997/98 ocorreram 103 eventos de precipitação nos anos em que não se registaram eventos de cheias, mas que, ultrapassaram o limiar mínimo de precipitação antecedente acumulada para as várias durações temporais. Os anos com mais eventos de precipitação, mas que não registaram cheias, foram os anos de 1960/61 e 1985/86 (Quadro 10.14).

A comparação dos eventos de cheias com os eventos de precipitação situados acima do limiar, mas que não desencadearam nenhum evento, indica uma probabilidade de apenas 17,5% de um determinado valor de precipitação antecedente acumulada, ultrapassado o limiar mínimo, corresponder a um evento de cheia (Quadro 10.15).

Quadro 10.15. Probabilidade e um evento de precipitação corresponder a um evento de cheia depois de ultrapassado o limiar de precipitação mínimo.

Lamas de Olo	
Eventos de cheias	18
Eventos pluviosos acima do limiar mínimo	103
Probabilidade de ocorrência de um evento acima do limiar mínimo (%)	17,5

#### 10.1.4. Bacia do rio Távora

Para a bacia do rio Távora só é possível analisar quatro eventos de cheias, todas classificadas como cheias progressivas, para as estações de Aguiar da Beira, Leomil, Penedono e Trancoso. No Quadro 10.16 estão patentes as combinações críticas (quantidade/duração), tendo por base o valor do período de retorno mais elevado.

Quadro 10.16. Combinações críticas (quantidade/duração) associados às ocorrências de cheias na bacia do rio Távora para as diferentes estações. A negrito encontra-se a combinação crítica com o período de retorno mais elevado.

Ocorrências		Aguiar da Beira	Leomil	Penedono	Trancoso
21-01-1936	mm	<b>766,6</b>	631,0	84,6	615,4
	Pr	<b>36,0</b>	19,3	1,1	32,9
	dias	<b>30,0</b>	30,0	40,0	40,0
23-12-1945	mm	300,7	260,1	258,5	<b>339,5</b>
	Pr	4,9	3,2	1,5	<b>13,9</b>
	dias	10,0	10,0	75,0	<b>10,0</b>
14-11-1963	mm	324,0	<b>282,6</b>	114,4	297,9
	Pr	43,0	<b>15,5</b>	1,5	4,4
	dias	5,0	<b>5,0</b>	15,0	15,0
15-11-1963	mm	541,5	<b>140,0</b>	50,0	218,0
	Pr	31,9	<b>116,3</b>	1,8	13,9
	dias	15,0	<b>1,0</b>	3,0	4,0

As combinações críticas ocorrem em durações variadas (de 1 a 75 dias), não se verificando um padrão regular entre as estações. Os valores de precipitação crítica são mais elevados na estação de Aguiar da Beira. Em termos médios, a diferença entra as estações é de 366 mm. Em termos de duração crítica. Apesar de se verificar um maior acordo entre as estações, não existe nenhum evento em que o acerto seja total. Em termos de período de retorno as estações de Aguiar da Beira e Leomil apresentam os valores mais elevados. A maior diferença regista-se no dia 15 de novembro de 1963 é de cerca de 115 anos entre os 116 anos em Leomil e os 2 anos em Penedono (Quadro 10.16).

As condições críticas (quantidade/duração) da precipitação antecedente acumulada desencadeante de cada evento e para cada estação, estão na Figura 10.23, através de regressão linear. Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) variam entre 0,79 para Penedono e 0,96 para Leomil. A estação de Penedono evidencia os quantitativos de precipitação críticos mais baixos. A estação escolhida para a restante análise foi a que apresenta um melhor ajustamento, sendo a equação determinada por regressão linear de  $y=16,049x + 143,86$  (Figura 10.23).

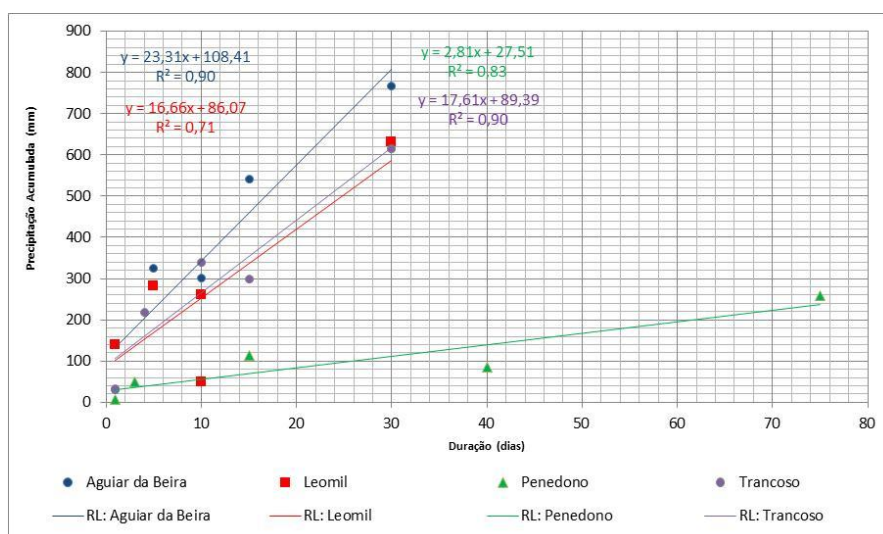


Figura 10.23. Limiares críticos de precipitação (quantidade/duração) para a bacia do Távora estabelecidos por regressão linear (RL).

Os limiares críticos determinados com base na intensidade de precipitação para as diferentes durações de precipitação acumulada, derivados por regressão potencial mostram uma correlação mais elevada nas estações de Extremo e Aveleiras ( $R^2$  de 0,88 e 0,87, respetivamente). As intensidades da precipitação diária são em termos gerais mais elevadas

nas estações de Leomil e Trancoso. No entanto, os ajustamentos são mais baixos que os verificados em Leomil para a combinação crítica de quantidade/duração (Figura 10.24).

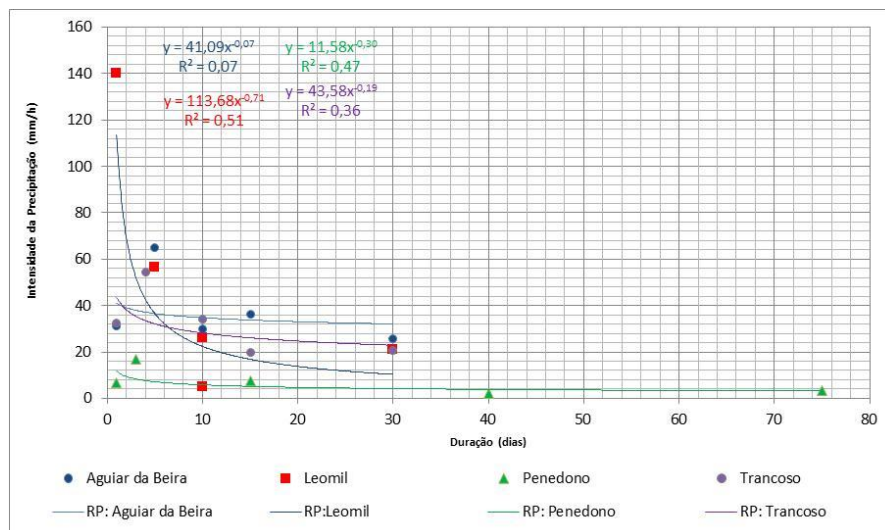


Figura 10.24. Limiares críticos de precipitação (intensidade/duração) para a bacia do Távora estabelecidos por regressão potencial (RP).

A validação do limiar estabelecido para Leomil, realizada através dos valores máximos de precipitação acumulada para as diferentes durações (1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 30, 40, 60, 75 e 90 dias) dos anos hidrológicos da série de dados em estudo (1933/34 a 1995/1996) em que não se registaram eventos de cheias mostra que 14% destes valores máximos situam-se abaixo do limiar estabelecido. Os resultados mostram que a maioria que se situa abaixo do limiar ocorre entre as durações de 2 a 30 dias (Figura 10.25).

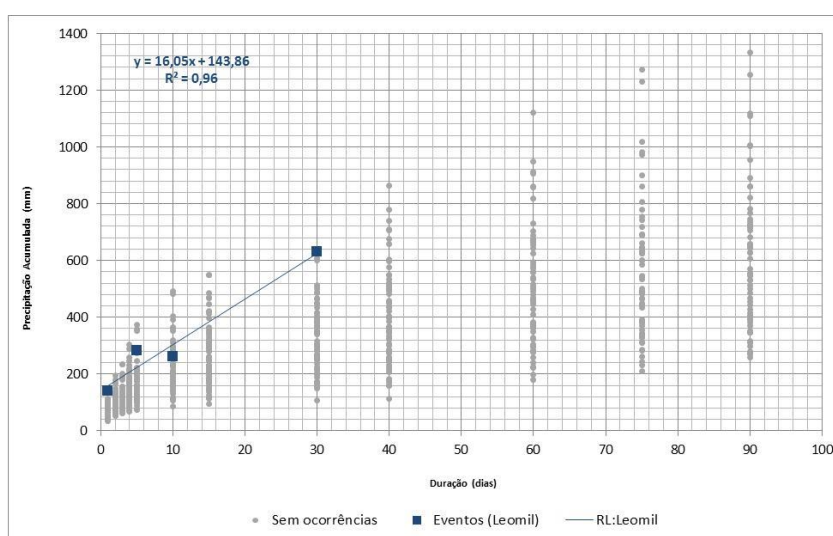


Figura 10.25. Limiar crítico de precipitação (quantidade/duração) com base nos dados de precipitação diária de Leomil.

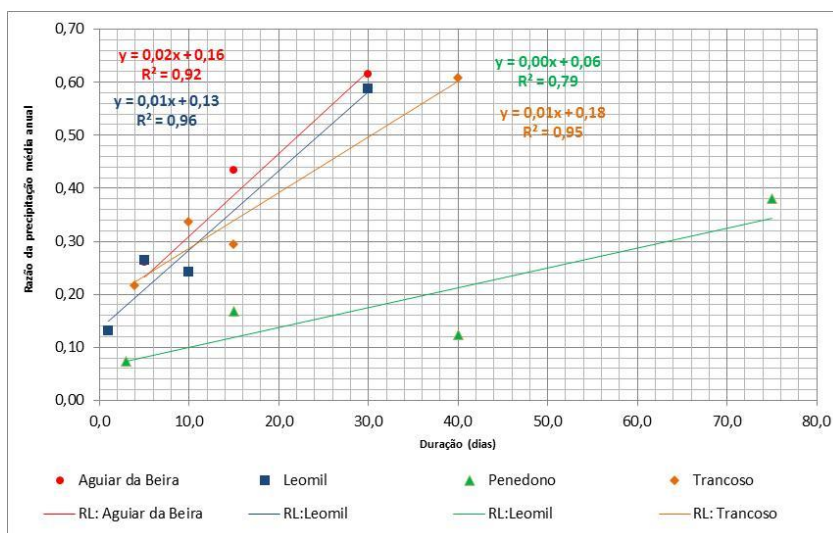
Na Figura 10.25 verificamos a existência de falsos positivos, principalmente nas durações mais pequenas, que se devem sobretudo ao reduzido número de eventos de cheias, usados no ajustamento dos dados por regressão linear.

Os valores da precipitação crítica ponderada pela precipitação média anual permitem uma comparação mais fidedigna entre as estações, eliminando as diferenças que são induzidas pela altitude. Os valores ponderados são bastante diferentes em Penedono, do que das restantes estações devido ao valor da precipitação média anual ser muito inferior ao das restantes estações.

Observando a Figura 10.26, verifica-se que nas estações de Aguiar da Beira e Leomil, as precipitações normalizadas pela precipitação média anual tendem a aproximar-se entre todas as durações (Figura 10.26 e Quadro 10.17).

*Quadro 10.17. Razão da precipitação antecedente acumulada em milímetros, ponderada pela PMA para as combinações críticas associadas aos eventos de cheias, na bacia do Távora, para as diferentes estações em análise.*

Eventos	Aguiar da Beira	Leomil	Penedono	Trancoso
21-01-1936	0,62	0,59	0,12	0,61
23-12-1945	0,24	0,24	0,38	0,34
14-11-1963	0,26	0,26	0,17	0,29
15-11-1963	0,43	0,13	0,07	0,22



*Figura 10.26. Limiares críticos de precipitação ponderada pela precipitação média anual estabelecidos por regressão linear (RL) para a bacia do Távora.*

A análise aos limiares críticos de quantidade/duração e intensidade/duração com base nos dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia nas estações hidrométricas de Moinho da

Ponte Nova e Quinta Rape mostram correlações menos expressivas, com coeficientes de determinação bem mais baixos do que os limiares com base nos eventos de cheias. Os coeficientes de determinação para as combinações críticas de quantidade/duração são de 0,56 e 0,4 para os dias que ultrapassaram os limiares do caudal de cheia em Quinta Rape e Moinho da Ponte Nova, respetivamente (Figura 10.27).

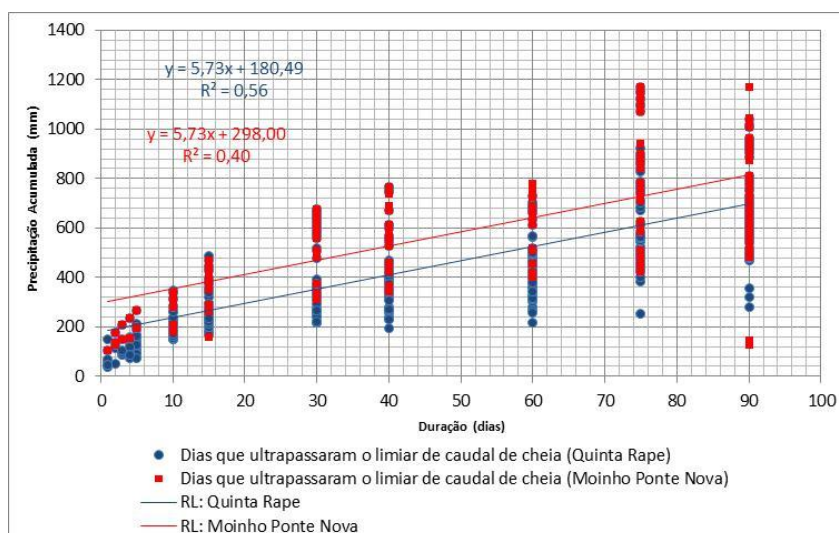


Figura 10.27. Limiares críticos de precipitação (quantidade/duração) para a bacia do Távora estabelecidos por regressão linear (RL) a partir dos dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia.

Os coeficientes de determinação para as combinações críticas intensidade/duração são mais elevados, 0,75 para Quinta Rape e 0,70 para Moinho da Ponte Nova (Figura 10.28). No entanto, estes resultados são menos expressivos que os apresentados com base nos eventos de cheias.

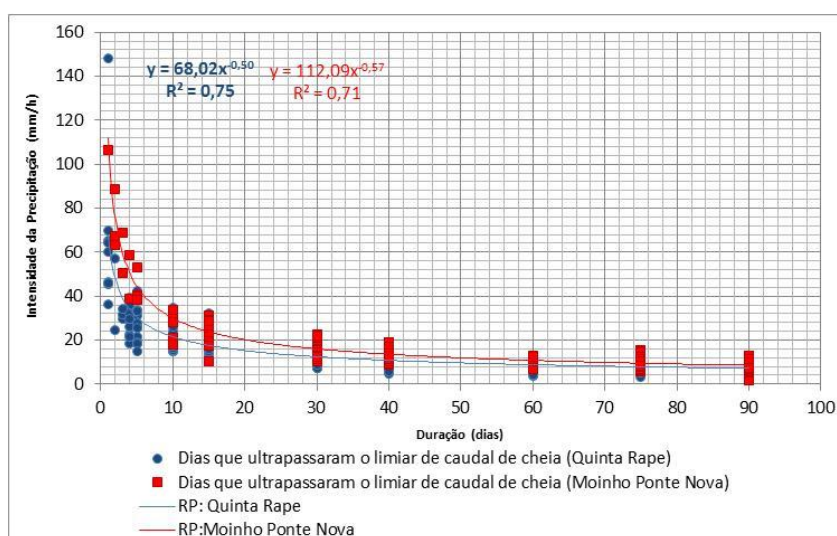


Figura 10.28. Limiares críticos de precipitação (intensidade/duração) para a bacia do Távora estabelecidos por regressão potencial (RP) a partir dos dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia.

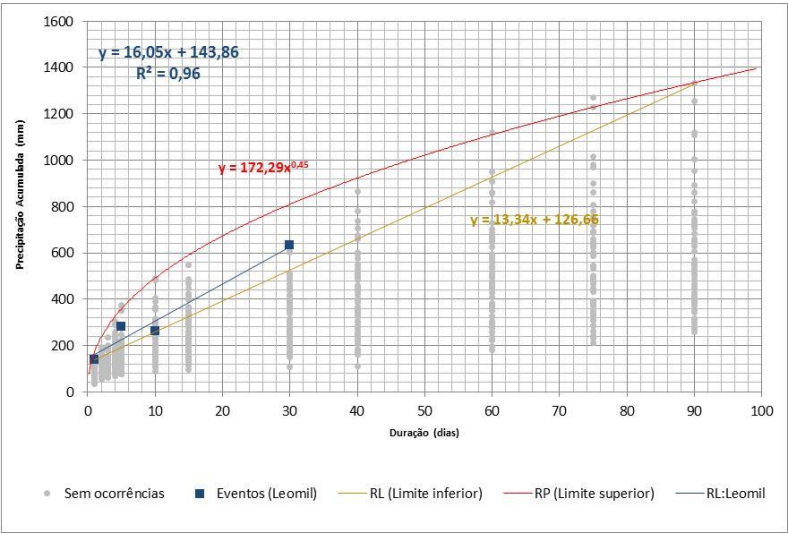


Figura 10.29. Limiares de precipitação mínima (dourado) e máximo (vermelho) na estação de Casal Soeiro para a ocorrência de cheias na bacia do Távora.

Na Figura 10.29 apresentam-se os limiares máximo e mínimo para a estação de Leomil. Podemos verificar que todos os eventos registados encontram-se abaixo do limiar máximo definido. Os valores dos limiares máximos e mínimos de precipitação para as diferentes durações estão visíveis no Quadro 10.18, bem como o limiar de pré-aviso. Os valores do limiar inferior situam-se entre os 140 mm para 1 dia e os 1328 mm para 90 dias enquanto, o limiar máximo varia entre os 172 mm para 1 dia e os 1335 mm para 90 dias.

Quadro 10.18. Valores de precipitação antecedente acumulada (mm) correspondentes aos limiares mínimo, máximo e de pré-aviso para diferentes durações em Leomil e relação entre o número de eventos de cheias localizados acima ou abaixo do limiar máximo.

Precipitação acumulada (dias)	Limite inferior	Limite superior	Limiar de Pré Aviso	N. de eventos abaixo do limiar máximo	N. de eventos acima do limiar máximo
1	140,0	172,3	126,0	1	0
2	153,3	236,2	138,0	0	0
3	166,7	284,0	150,0	0	0
4	180,0	323,7	162,0	0	0
5	193,4	358,3	174,0	1	0
10	260,1	491,2	234,1	1	0
15	326,8	590,7	294,1	0	0
30	527,0	809,7	474,3	1	0
40	660,4	923,0	594,4	0	0
60	927,3	1110,0	834,6	0	0
75	1127,5	1228,6	1014,7	0	0
90	1327,6	1334,9	1194,9	0	0



Entre 1933/33 a 1995/96 registaram-se em Leomil, 43 eventos de precipitação ocorridos nos anos em que não se registaram eventos de cheias, mas que, ultrapassaram o limiar mínimo de precipitação antecedente acumulada para as várias durações temporais. O Quadro 10.19 indica que os anos de 1936/37, 1955/56 e 1965/66 registaram 4 eventos de precipitação, mas que não registaram cheias. Do lado oposto encontram-se mais de 50% dos anos onde não se registaram eventos de precipitação que ultrapassaram o limiar mínimo de precipitação antecedente acumulada para as várias durações temporais.

A comparação dos eventos de cheias com os eventos de precipitação situados acima do limiar, mas que não desencadearam nenhum evento, mostra uma probabilidade de apenas 9,3% de um determinado valor de precipitação antecedente acumulada, ultrapassado o limiar mínimo, corresponder a um evento de cheia. Como na análise às restantes bacias, estes resultados devem-se ao número reduzido de ocorrências de cheias (Quadro 10.20).

*Quadro 10.19. Número de eventos de precipitação que ultrapassaram o limiar mínimo de precipitação antecedente acumulada nos anos em que não se registaram eventos de cheias com base nos registos de precipitação em Leomil.*

Anos Hidrológicos	N. Eventos	Anos Hidrológicos	N. Eventos	Anos Hidrológicos	N. Eventos
33-34	0	55-56	4	76-77	0
34-35	0	56-57	0	77-78	1
36-37	4	57-58	0	78-79	3
37-38	0	58-59	1	79-80	0
38-39	1	59-60	3	80-81	0
39-40	0	60-61	0	81-82	2
40-41	2	61-62	1	82-83	1
41-42	0	63-64	1	83-84	1
42-43	1	64-65	0	84-85	0
43-44	1	65-66	4	85-86	0
44-45	0	66-67	0	86-87	0
46-47	1	67-68	0	87-88	0
47-48	1	68-69	0	88-89	0
48-49	0	69-70	1	89-90	2
49-50	0	70-71	0	90-91	0
50-51	0	71-72	0	91-92	0
51-52	2	72-73	0	92-93	0
52-53	0	73-74	1	93-94	2
53-54	0	74-75	0	94-95	0
54-55	0	75-76	0	95-96	2



*Quadro 10.20. Probabilidade e um evento de precipitação corresponder a um evento de cheia depois de ultrapassado o limiar de precipitação mínimo.*

Leomil	
Eventos de cheias	4
Eventos pluviosos acima do limiar mínimo	43
Probabilidade de ocorrência de um evento acima do limiar mínimo (%)	9,3

## 10.2. Análise dos eventos com mais expressão nas áreas de estudo

Neste ponto pretende-se testar a metodologia de determinação dos limiares de precipitação crítica a situações em concreto em que ocorreram cheias nas bacias em estudo, associadas a diferentes situações no que respeita à quantidade/duração da precipitação desencadeante. Para tal, foram escolhidos os eventos que registaram mais ocorrências de cheias em cada bacia em estudo.

### 10.2.1. Bacia do rio Vez

#### ***Eventos de cheia no ano hidrológico de 2000/2001***

O ano hidrológico de 2000/2001 foi terceiro ano mais chuvoso na série de Casal Soeiro entre 1960/61 a 2011/2012. Na bacia do rio Vez estão registadas na BDC-N 2 ocorrências no dia 7 de dezembro de 2000 e 1 no dia 5 de janeiro de 2001. Em Casal Soeiro a precipitação registada no dia 7 foi de 93 mm, sendo o período de retorno mais elevado para a precipitação acumulada antecedente de 40 dias, com uma recorrência de 9 anos. No dia 5 de janeiro de 2001 a precipitação diária foi de 89 mm, mas o período de retorno mais elevado regista-se para a precipitação acumulada em 75 dias, com 19 anos de retorno. Na Figura 10.30 é possível observar a evolução das precipitações desde outubro de 2000, sendo de realçar a importância da precipitação acumulada.

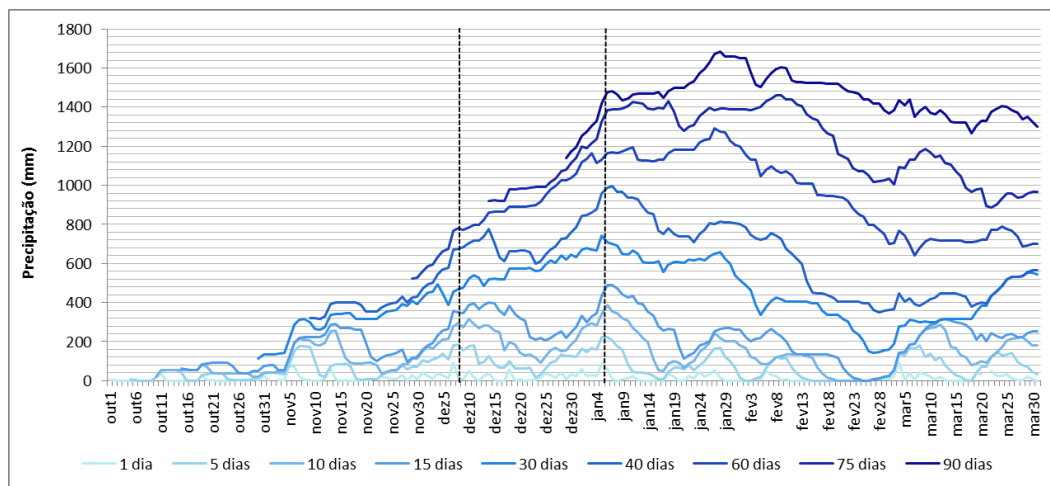


Figura 10.30. Evolução das precipitações antecedentes acumuladas para diferentes durações entre outubro de 2000 a março de 2001. As linhas a tracejado indicam os dias com registo de cheias na bacia do rio Vez.

A Figura 10.31 mostra que o limiar determinado por regressão linear com base nos eventos só foi ultrapassado no dia da ocorrência do dia 5 de janeiro. Em contrapartida, os limiares mínimos e de pré-aviso foram ultrapassados nos dias 6 a 9 de novembro e depois no dia do evento do dia 7 de dezembro. No dia do evento do dia 5 de janeiro, estes dois limiares também foram ultrapassados. O limiar máximo não foi atingido em nenhum dia do período em análise (Figura 10.31).

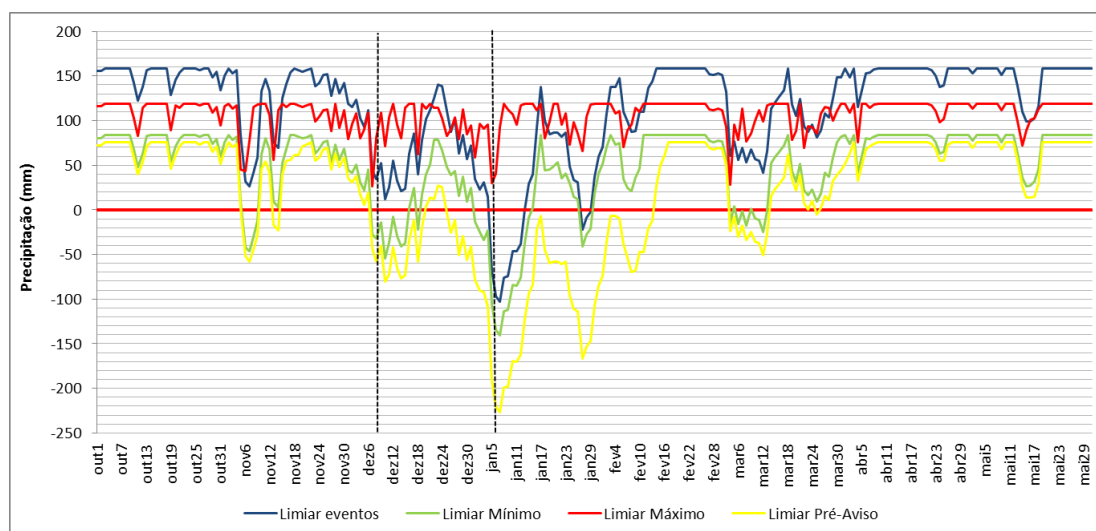


Figura 10.31. Precipitação diária mínima necessária para ultrapassar os diferentes limiares de precipitação em Casal Soeiro, entre 01 de outubro de 2000 e 31 de maio de 2001.

Limiares baseados nos eventos de cheias (azul); limiar máximo (vermelho), limiar mínimo (verde) e limiar de pré-aviso (amarelo). As linhas a tracejado indicam os dias com registo de cheias.

Na Figura 10.32 é possível observar quando determinado limiar foi ultrapassado e a duração crítica correspondente. Assim podemos verificar que no dia 7 de dezembro de 2000 o limiar inferior foi ultrapassado para as durações críticas de 1,3,4,5 e 10 dias. O limiar de pré-aviso foi ultrapassado entre as durações de 1 a 15 dias. No dia 5 de janeiro o limiar baseado nos eventos foi ultrapassado nas durações entre 10 e 40 dias, enquanto o limiar mínimo foi ultrapassado entre as durações de 1 a 40 dias e o limiar de pré-aviso de 1 a 60 dias (Figura 10.33). Deste modo, as ocorrências do dia 7 de dezembro de 2000 estão associadas à intensidade da precipitação do dia juntamente com a precipitação dos dias anteriores. Já a ocorrência do dia 5 de janeiro de 2001 está associada à sequência chuvosa das semanas anteriores. Os limiares mínimos e de pré-aviso estão por isso ajustados à realidade e são por isso uma mais-valia para a antevisão de possíveis cheias que acarretem consequências para as populações.

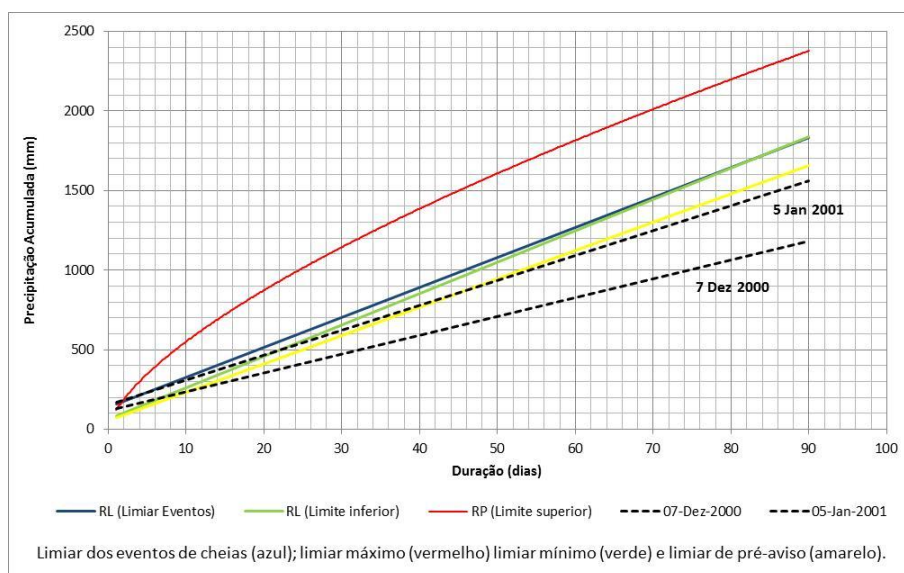


Figura 10.32. Limiares de precipitação antecedente acumulada para as diferentes durações e eventos de cheias nos dias 7 de dezembro de 2000 e 5 de janeiro de 2001.

### 10.2.2. Bacia do rio Este

#### Eventos de cheia no ano hidrológico de 1938/1939

Na bacia do rio Este, estão registadas 4 ocorrências de cheias entre os dias 15 e 19 de janeiro de 1939. Neste evento, podemos observar a importância das durações mais curtas para as cheias registadas (Figura 10.33). Assim, através da Figura 10.34, podemos comprovar que os

limiares mínimo e de pré-aviso foram atingidos no dia 14 de janeiro, enquanto o limiar baseado nos eventos foi ultrapassado no dia 16 de janeiro. As precipitações estiveram acima dos limiares mínimo e de pré-aviso até aos dias 1 e 11 de fevereiro respetivamente, enquanto acima do limiar baseado nos eventos foi até ao dia 22 de janeiro.

A Figura 10.35 confirma as durações críticas cujos limiares foram ultrapassados. Na ocorrência do dia 15 de janeiro, os limiares de pré-aviso e mínimo foram ultrapassados nas durações entre 1 e 10 dias e 1 e 15 dias respetivamente.

Na ocorrência do dia 16 de janeiro, os limiares de pré-aviso e mínimo foram atingidos nas durações entre 1 e 15 dias, enquanto o limiar baseado nos eventos foi ultrapassado nas durações entre 3 e 5 dias.

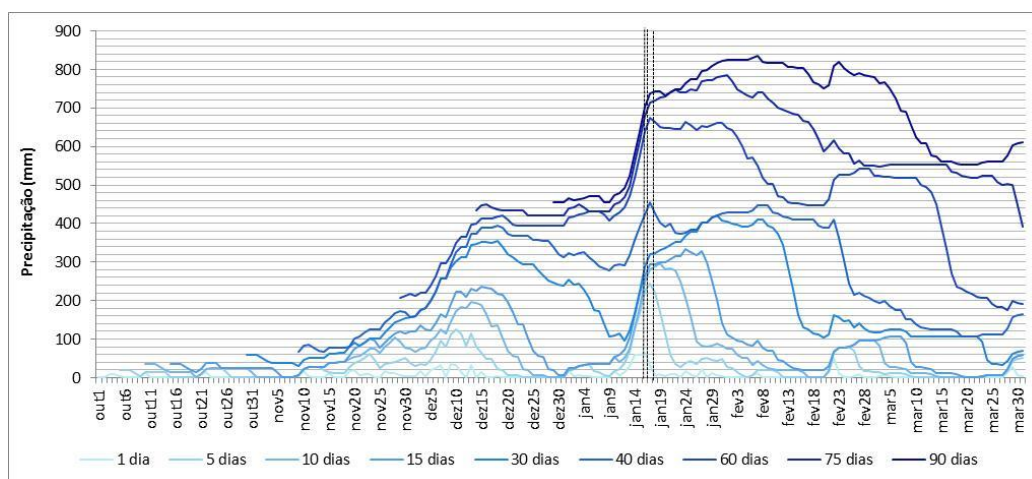


Figura 10.33. Evolução das precipitações antecedentes acumuladas para diferentes durações entre outubro de 1938 a março de 1939. As linhas a tracejado indicam os dias com registo de cheias na bacia do rio Este.

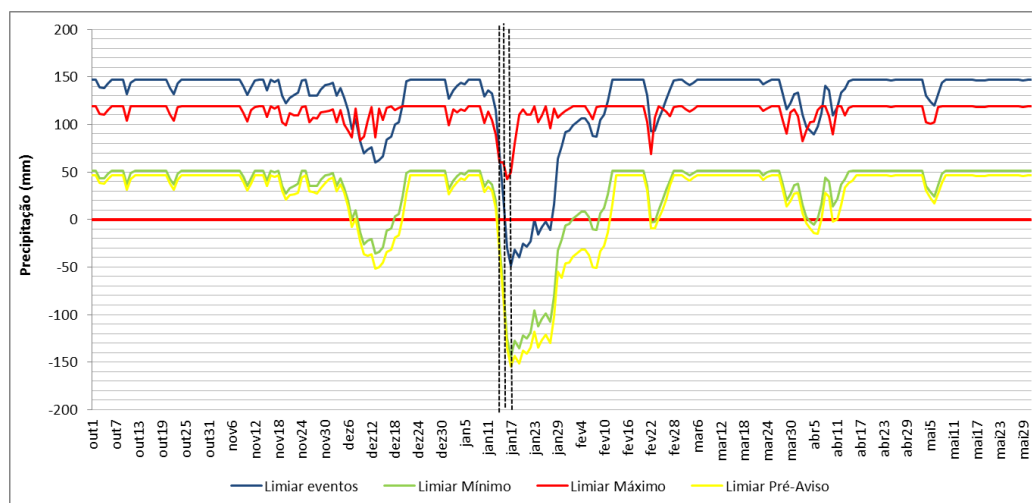


Figura 10.34. Precipitação diária mínima necessária para ultrapassar os diferentes limiares de precipitação em Viatodos, entre 01 de outubro de 1938 e 31 de maio de 1939. Limiares baseados nos eventos de cheias (azul); limiar máximo (vermelho), limiar mínimo (verde) e limiar de pré-aviso (amarelo). As linhas a tracejado indicam os dias com registo de cheias.

Por fim, no dia 17 de janeiro, os limiares de pré-aviso e mínimo foram atingidos entre os 2 e os 15 dias de precipitação acumulada. O limiar baseado nos eventos foi ultrapassado nas durações de 4 a 10 dias (Figura 10.35).

Os eventos registados no ano hidrológico de 1938/39 estão associados às precipitações registadas nos 15 dias antecedentes, mas também à intensidade diária que contribuiu para quebrar os limiares mínimos e de pré-aviso, nomeadamente nas ocorrências dos dias 15 e 16 de janeiro de 1939. Podemos comprovar assim, que os limiares mínimos e de pré-aviso são importantes para acautelar as populações de uma possível cheia.

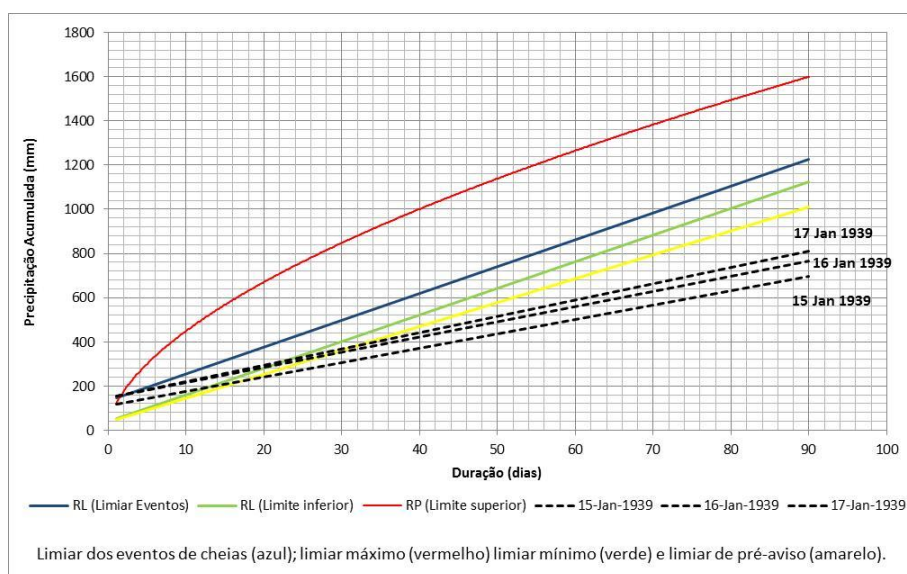


Figura 10.35. Limiares de precipitação antecedente acumulada para as diferentes durações e eventos de cheias nos dias 15,16 e 17 de janeiro de 1939.

### 10.2.3. Bacia do rio Corgo

#### **Eventos de cheia no ano hidrológico de 1950/1951**

No ano hidrológico de 1950/51, na bacia do Corgo, estão assinaladas quatro ocorrências de cheias: 7 e 28 de janeiro e 5 e 22 de fevereiro. A análise da evolução das precipitações antecedentes acumuladas para as diferentes durações mostra a importância dos quantitativos precipitação acumulada que vão aumentando no decorrer do ano hidrológico (Figura 10.36).

Deste modo, podemos verificar que os limiares de pré-aviso e mínimo foram atingidos em todas as ocorrências, enquanto o limiar baseado nos eventos só foi ultrapassado na cheia do dia 22 de fevereiro. O limiar máximo nunca foi superado (Figura 10.37). À medida que

caminhamos no ano hidrológico os limiares mínimo, pré-aviso e baseado nos eventos vai sendo ultrapassado para durações maiores, comprovando a importância dos valores acumulados no desencadear das ocorrências.

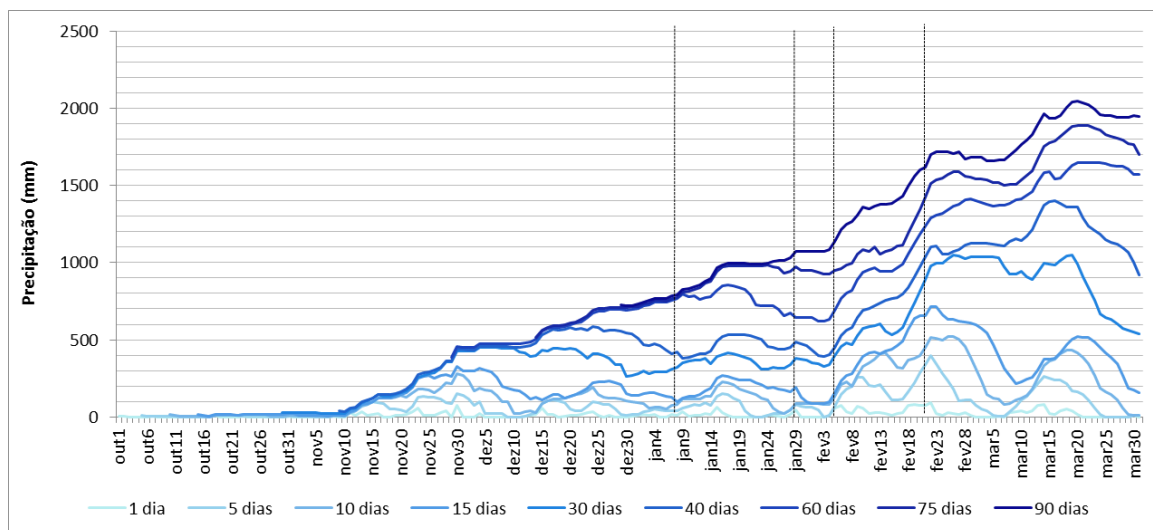


Figura 10.36. Evolução das precipitações antecedentes acumuladas para diferentes durações entre outubro de 1950 a março de 1951. As linhas a tracejado indicam os dias com registro de cheias na bacia do rio Corgo.



Figura 10.37. Precipitação diária mínima necessária para ultrapassar os diferentes limiares de precipitação em Lamas de Olo, entre 01 de outubro de 1950 e 31 de maio de 1951. Limiares baseados nos eventos de cheias (azul); limiar máximo (vermelho), limiar mínimo (verde) e limiar de pré-aviso (amarelo). As linhas a tracejado indicam os dias com registro de cheias.

A Figura 10.38 confirma as durações em que foram ultrapassados os limiares. Deste modo, na cheia do dia 7 de janeiro apenas para os limiares de pré-aviso e mínimo foram atingidos para a precipitação acumulada antecedente a 60 dias. Já na ocorrência do dia 28 de janeiro o limiar

mínimo foi ultrapassado para as durações de 75 e 90 dias e o limiar de pré-aviso foi ultrapassado para as durações superiores a 30 dias. No dia 5 de fevereiro o limiar mínimo foi ultrapassado a partir dos 75 dias e o limiar de pré-aviso a partir da acumulação dos 30 dias de precipitação. Na cheia do dia 22 de fevereiro os limiares de pré-aviso e mínimo foram atingidos na quase totalidade das durações críticas consideradas (de 2 a 90 dias) e o limiar baseado nos eventos foi atingido nas durações críticas dos 3 dias aos 90 dias (Figura 10.38). A precipitação antecedente acumulada para durações maiores foi assim importante no desencadear dos eventos no mês de janeiro e início do mês de fevereiro.

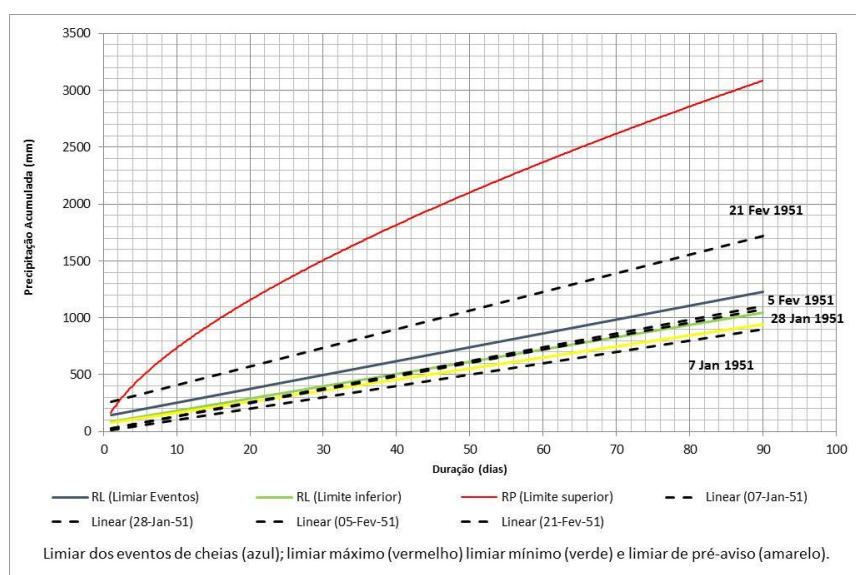


Figura 10.38. Limiares de precipitação antecedente acumulada para as diferentes durações e eventos de cheias nos dias 07 e 28 de janeiro e 05 e 21 fevereiro de 1951.

A cheia do dia 22 de fevereiro para além da importância das precipitações acumuladas para durações maiores, também está associada aos quantitativos de precipitação elevados nos cinco dias anteriores. Assim, para a bacia do Corgo, confirmamos a validade dos limiares mínimo e de pré-aviso. À medida que o ano hidrológico avança, os valores de precipitação acumulados são mais elevados e por isso o limiar baseado nos eventos é atingido.

#### 10.2.4. Bacia do rio Távora

##### *Eventos de cheia no ano hidrológico de 1963/1964*



Entre os dias 14 e 15 de novembro de 1963, registaram-se 4 ocorrências na bacia do rio Távora. Como vimos anteriormente no Capítulo 9, na análise à precipitação e caudal registado, desde o final de outubro que se regista precipitação, causando o aumento gradual do caudal. A Figura 10.39 confirma o aumento dos valores de precipitação acumulada a partir do final de outubro conjuntamente com os quantitativos elevados nos dias dos eventos. Deste modo, os limiares mínimo, pré-aviso e baseado nos eventos foram atingidos a partir do dia 12 de novembro.

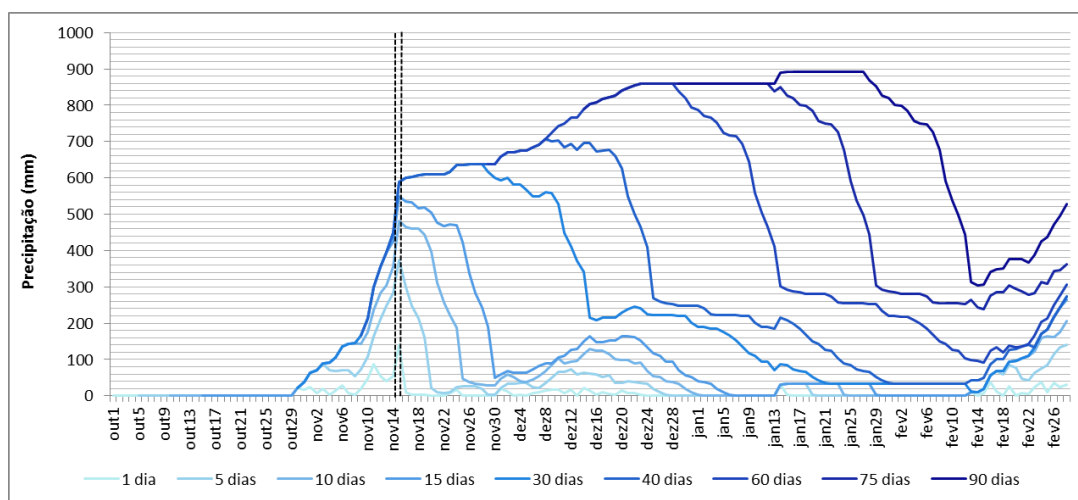


Figura 10.39. Evolução das precipitações antecedentes acumuladas para diferentes durações entre outubro de 1963 a fevereiro de 1964. As linhas a tracejado indicam os dias com registo de cheias na bacia do rio Távora.

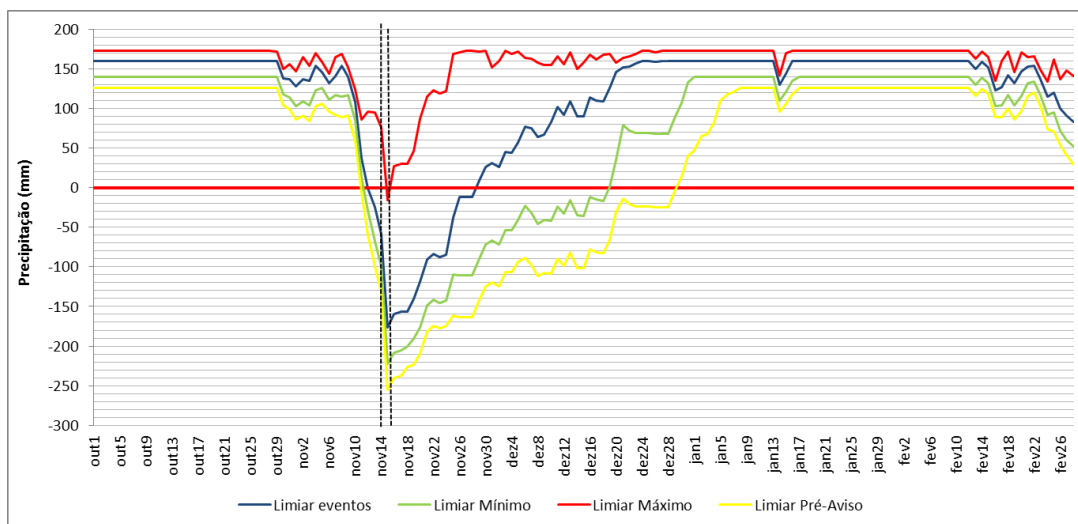


Figura 10.40. Precipitação diária mínima necessária para ultrapassar os diferentes limiares de precipitação em Leomil, entre 01 de outubro de 1963 e 29 de fevereiro de 1964. Limiares baseados nos eventos de cheias (azul); limiar máximo (vermelho), limiar mínimo (verde) e limiar de pré-aviso (amarelo). As linhas a tracejado indicam os dias com registo de cheias.

A precipitação do dia 15 de novembro, em Leomil, foi de tal forma intensa (140 mm com 116 anos de recorrência) que o limiar máximo foi ultrapassado apenas neste dia por 16 mm. A

precipitação acumulada permaneceu acima do limiar baseado nos eventos até dia 28 de novembro, acima do limiar mínimo até dia 18 de dezembro e acima do limiar de pré-aviso até dia dezembro (Figura 10.40). A Figura 10.41 confirma que os limiares de pré-aviso, mínimo e baseado nos eventos foram ultrapassados para durações críticas entre os 4 e os 15 dias no dia 14 de novembro. No dia 15 de novembro, o limiar de pré-aviso foi atingido nas durações críticas de 1 a 30 dias, enquanto limiar mínimo foi ultrapassado nas durações entre os 2 e os 30 dias. O limiar baseado nos eventos estudados foi atingido entre os 2 e os 15 dias de precipitação antecedente acumulada. O limiar máximo foi superado na duração crítica dos 5 dias (Figura 10.41). Deste modo, os eventos dos dias 14 e 15 de novembro de 1963 estão associados aos valores acumulados desde o final do mês de novembro. Mais uma vez, os limiares mínimo e de pré-aviso estão ajustados à realidade. O limiar máximo foi ultrapassado para a duração crítica de 5 dias, devido aos valores excepcionais de precipitação que foram registrados.

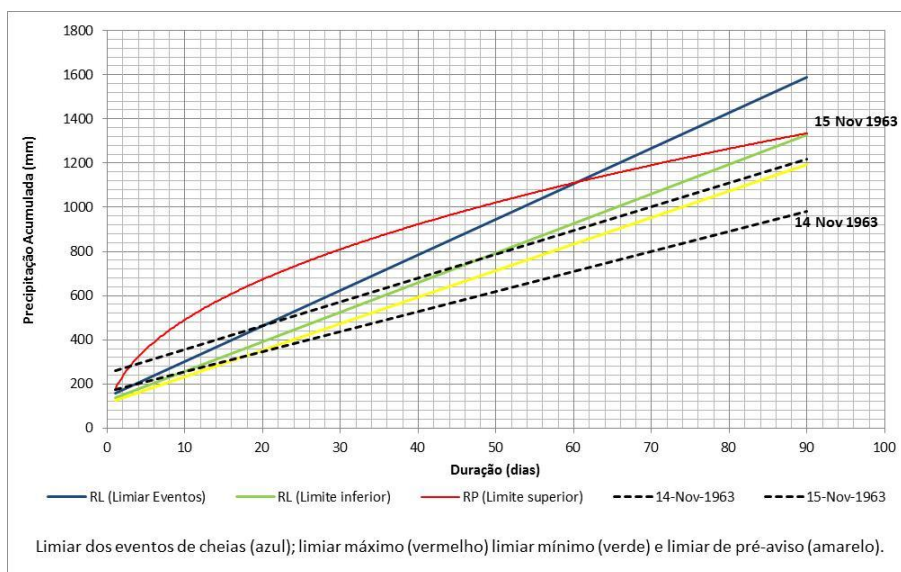


Figura 10.41. Limiares de precipitação antecedente acumulada para as diferentes durações e eventos de cheias nos dias 14 e 15 de novembro de 1963

### 10.3. Conclusão e contributos para um sistema de alerta

Numa primeira fase, foram definidos os limiares com base nas combinações críticas: quantidade/duração e intensidade/duração dos eventos de cheias com dados de precipitação diária para as bacias em estudo. Foi possível assim verificar que os limiares com base na combinação crítica: quantidade / duração apresentam melhores ajustamentos em todas as bacias. A concretização deste trabalho permitiu definir a estação meteorológica de referência

para cada bacia, ou seja, a estação que apresentou o coeficiente de determinação mais elevado no ajustamento da combinação crítica quantidade/duração. Assim, os melhores ajustes dos limiares empíricos baseados na regressão linear determinada pela precipitação antecedente acumulada de forma absoluta e ponderada pela precipitação média anual, associada a cada um dos eventos de cheias, foram obtidos com base nos registos de precipitação diária de Casal Soeiro, para a bacia do Vez, Viatodos, para a bacia do Este, Lamas do Olo, para a bacia do Corgo e Leomil para a bacia do Távora. Numa segunda fase, também se constatou que os limiares baseados nos dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia apresentam coeficientes de determinação das combinações críticas quantidade/duração e intensidade/duração, bem mais baixos que os limiares baseados nos eventos de cheia. De seguida, foram determinados os limiares mínimo, máximo e de pré-aviso, que definem as fronteiras para que um evento possa ocorrer. A análise da razão entre os eventos de cheia e os eventos de precipitação que ocorrem acima do limiar mínimo mostra probabilidades relativamente baixas de uma cheia acontecer (a probabilidade mais elevada acontece no Corgo, com 18%). Estes fracos resultados podem estar relacionados com o número reduzido de cheias inventariadas (apenas as que causaram danos reportados pela comunicação social e que provocaram algum tipo de dano). Por outro lado, os resultados do limiar máximo mostram que não é o ideal para a utilização nas cheias, uma vez que a maioria dos verdadeiros positivos se encontra abaixo deste limite.

Por fim realizou-se uma análise retrospectiva dos limiares definidos a eventos registados no passado em cada uma das bacias. Os resultados sugerem que os limiares mínimo e de pré-aviso estão bem ajustados e são por isso uma mais-valia na preparação das entidades responsáveis, para a ocorrência de eventos de cheias. O maior entrave a esta metodologia é a disponibilização dos dados de precipitação diária e melhor ainda da precipitação horária, em tempo real para as estações existentes no território do SNIRH da APA. Com a disponibilização destes dados, seria possível detetar quando os limiares mínimo, máximo ou de pré-aviso fossem ultrapassados e prever desta forma, possíveis cheias com consequências nefastas para as populações. Desta forma, com a recolha em tempo real de dados hidro-meteorológicos seria possível o desenvolvimento de um sistema de previsão e alerta das cheias.

## Conclusão geral

O trabalho apresentado pretendeu aplicar um conjunto de metodologias que permitissem aprofundar o conhecimento dos eventos de precipitação no desencadeamento de cheias na região Norte. Ao longo da dissertação procuramos ao máximo recolher a informação disponível, nomeadamente de ocorrências de cheias, dados pluviométricos e dados hidrométricos. Relativamente às ocorrências de cheias, a BDC-N aqui apresentada está limitada aos eventos que provocaram algum tipo de dano e que estão presentes na principal imprensa escrita entre 1865 e 2011. Os dados pluviométricos e hidrométricos foram retirados do SNIRH da APA. As estações desta rede apresentam desiguais períodos de funcionamento, para além de possuírem numerosas lacunas no registo de dados. Deste modo, torna-se difícil encontrar um período de dados comum e suficientemente longo que possa sustentar a análise. Desta forma, apesar de todos os esforços para a obtenção de dados, os resultados aqui expostos apresentam, necessariamente, certas limitações que se devem exclusivamente à falta de informação de base.

A região Norte, e mais especificamente as bacias do Vez, Este, Corgo e Távora, foram definidas como territórios de estudo. A região Norte é marcada pela forte irregularidade pluviométrica e apresenta acentuadas discrepâncias entre o Noroeste e Nordeste nas características da precipitação, cujo regime integra a ocorrência de episódios de chuvas prolongadas potenciadores de cheias progressivas ou episódios de precipitação intensa, localizados e de curta duração, desencadeantes de cheias rápidas. As bacias do Vez, Este, Corgo e Távora foram escolhidas como áreas de estudo, pelos enquadramentos morfológicos diferentes e pelo facto de para estas bacias ter sido possível compilar informação relativamente a ocorrências de cheias, registos de precipitação diária de pelo menos quatro estações meteorológicas e ainda séries de dados hidrométricos. A bacia do Vez localiza-se nas montanhas do Noroeste, local onde os valores de precipitação são mais elevados. A bacia do Este localiza-se no litoral, com vales amplos, abrangendo a cidade de Braga. As bacias do Corgo e Távora localizam-se no interior da região, uma na margem esquerda e outra na margem direita do rio Douro, a sotavento da barreira de condensação formada pelos sistemas montanhosos do Marão e do Alvão, apresentando, por isso, registos de precipitação muito distintos do que os que se verificam no Alto Minho. As características permanentes das bacias são bastante diferentes nas quatro áreas de análise. Em termos dos parâmetros geométricos a bacia do Vez é mais

propensa à ocorrência de cheias, enquanto em termos de rede de drenagem destaca-se a bacia do Távora. Em relação ao relevo, são as bacias do Vez e Corgo que apresentam os declives mais acentuados, não obstante os declives médios mais elevados nas bacias do Corgo e Távora se situarem áreas dominadas por metassedimentos. A bacia do Este destaca-se com o maior aumento de área urbanizada e maior desflorestação na área da bacia entre 1990 e 2006. As bacias dos Vez e Este são as que apresentam mais sectores com suscetibilidade elevada ou muito elevada à ocorrência de cheias.

Este trabalho foi estruturado em oito objetivos específicos, aos quais se procurou dar resposta ao longo dos capítulos que constituem esta dissertação.

**Objetivo 1. Criar uma base de dados sobre as cheias na região Norte, ocorridas no século XX e na primeira década do século XXI.**

A BDC-N apoiou-se no projeto *DISASTER*. Deste trabalho sublinha-se o seguinte:

- A inventariação das cheias, entre 1865 e 2011 teve por base a imprensa escrita e por isso, estão apenas registadas as ocorrências de cheias que provocaram algum tipo de dano.
- Na construção da BD preencheram-se as seguintes informações: subtipo (i.e. cheia progressiva, cheia rápida ou inundação urbana) data, localização, fonte, data da fonte, número de página, número de mortes, feridos, desalojados, evacuados ou desaparecidos, entidades envolvidas, prejuízos materiais e fator desencadeante. Alguns campos, nem sempre foram fáceis de preencher porque dependeram do detalhe da notícia.
- No total estão registadas 1873 ocorrências, das quais 508 provocaram 202 mortos, 59 feridos, 15924 desalojados, 1873 evacuados e 34 desaparecidos.
- Na BDC-N estão presentes as cheias que correspondem à base de dados *DISASTER* e que, por isso, provocaram mortos, feridos, desaparecidos, evacuados ou desalojados (27%) e as ocorrências que causaram somente algum tipo de dano (73%).
- As ocorrências são sobretudo cheias progressivas (58%) e inundações urbanas (32%) e concentram-se principalmente nos principais centros urbanos e ao longo dos principais rios da região, resultado da maior exposição e vulnerabilidade da população que ocupa, indevidamente, os leitos de cheia. Os concelhos de Porto e Vila Nova de Gaia concentram 27% das ocorrências de cheias.

- As cheias progressivas ocorrem com maior frequência nos meses de inverno, enquanto as cheias rápidas acontecem sobretudo nos meses de maio, junho e setembro.

**Objetivo 2. Analisar diferentes métodos de interpolação espacial, que permitam expressar satisfatoriamente os principais contrastes identificados ao longo da pesquisa.**

Para a concretização deste objetivo, optou-se por avaliar a técnica mais adequada para a interpolação da precipitação na região Norte, testando diferentes métodos na representação do parâmetro da precipitação média anual, com base nas 44 estações selecionadas. Para tal:

- Procedeu-se à modelação da distribuição espacial da precipitação média anual (1960/61-2000/01), com recurso a diversas técnicas de interpolação uni-variadas e multivariadas: interpolação em função do inverso da distância (IDW) para as 3 potências de distância mais usuais; interpolação global polinomial para três potências; krigagem ordinária segundo os modelos do semivariograma: esférico, gaussiano e exponencial; krigagem empírica bayesiana; cokrigagem com uma ou duas variáveis auxiliares: altitude e distância ao mar; e regressão linear múltipla.
- Executou-se também a análise da estatística descritiva: valor médio, o valor mínimo, o valor máximo, a mediana e o desvio padrão, entre os valores observados e os valores estimados e das medidas de avaliação que abrangem o erro médio, o erro absoluto médio, o erro percentual absoluto médio, o erro quadrático médio e a raiz do erro quadrático médio. A seleção final do método mais adaptado à modelação da precipitação fundamentou-se na avaliação conjunta da inspeção visual dos mapas desenvolvidos e da análise dos erros ou desvios de cada interpolação.
- A análise conjunta dos parâmetros de avaliação, da estatística descritiva e do aspeto visual dos mapas, levou à escolha da técnica de krigagem ordinária segundo o modelo semivariográfico gaussiano para a interpolação de dados de precipitação na região Norte.

**Objetivo 3. Analisar as precipitações na região Norte, do ponto de vista estatístico e também da variabilidade espacial, procurando investigar as relações entre as condições pluviométricas e diferentes variáveis geotopográficas.**

Abordamos as características de precipitação anual, mensal e diária na região Norte e nas bacias em estudo, no período temporal de 1960/61 a 2000/01, acentuando a variabilidade espacial e temporal. Desta análise destaca-se o seguinte:

- O Noroeste caracteriza-se por valores de precipitação mais elevados, nomeadamente, nas cadeias montanhosas, geralmente paralelas à linha de costa. O Nordeste,

principalmente o vale encaixado do rio Douro, é considerado uma das regiões mais secas do país devido a à atuação conjunta de fatores como o relevo, a exposição das vertentes aos fluxos de ar húmido e a continentalidade.

- À medida que caminhamos para o interior os quantitativos de precipitação vão diminuindo, devido sobretudo a uma diminuição da intensidade e frequência da penetração das massas de ar atlânticas e também em consequência do efeito de abrigo gerado pela distribuição das massas de relevo, em particular as montanhas do Noroeste e das serras do Marão e do Alvão.
- Os quantitativos máximos diários de precipitação atingidos são muito elevados no Alto Minho e registam-se particularmente nos meses de inverno. No alto vale do Douro, os valores máximos diários são bem mais reduzidos e apresentam, comparativamente, uma maior frequência de ocorrência nos meses de verão.
- As terras altas do Noroeste são áreas chuvosas durante todo o ano, enquanto em Trás-os-Montes e Alto Douro, os meses de verão recebem pouca precipitação, verificando-se, no entanto, por vezes, eventos de chuva concentrada em poucas horas, o que explica a ocorrência de mais dias com precipitação abundante no verão.
- A bacia do rio Vez está sujeita a precipitação frequente e mais intensa ao longo do ano. Próximo do oceano Atlântico, as precipitações são frequentes mas pouco intensas, o que acontece na bacia do Este. A bacia do Corgo encontra-se inserida numa área onde se notam bem as diferenças entre locais situados nas montanhas do Alvão e Marão bem mais chuvosos e os locais a este, muito menos chuvosos. O vale do Douro e os planaltos situados a sul, abrigados pelas serras situadas a ocidente e pela cordilheira central, são das regiões mais secas do país, como acontece na bacia do rio Távora.

**Objetivo 4. Avaliar as tendências de evolução temporal das cheias e da precipitação anual e sazonal.**

A avaliação de tendências nas séries anuais e sazonais realizou-se através do teste não paramétrico de Mann-Kendall e a estimativa da magnitude da tendência pelo teste de Sen. Os resultados mostram:

- Uma grande variabilidade das ocorrências de cheias, ao longo dos 147 anos da BDC-N, identificando-se uma ténue tendência de aumento de 0,066 ocorrências por ano, portanto não significativa.
- Para o período 1960/61 a 2000/01, as tendências negativas e não significativas da precipitação anual são predominantes na região. A média das tendências negativas



nas estações com significância estatística é de -14 mm/ano. As tendências negativas e com significância estatística localizam-se sobretudo no sector montanhoso do Noroeste, nas estações mais próximas da fronteira com Espanha.

- A avaliação de tendência das séries sazonais de precipitação revelou, uma evolução no sentido da diminuição da precipitação, sobretudo no inverno e na primavera. Esta diminuição está associada predominância da fase positiva do índice NAO entre os anos 1960 e 1990.

**Objetivo 5. Estudar os padrões de circulação atmosférica que estão relacionados com as cheias na região Norte.**

A aplicação dos seis tipos de circulação atmosférica (CWTs) aos dias de cheia e aos dez dias antecedentes efetuou-se através da utilização do coeficiente de eficácia que pretende identificar a relação entre as frequências relativas parciais e a frequência relativa total dos CWTs e as cheias que ocorreram durante o período de estudo. Dos resultados destacam-se os seguintes aspetos:

- Os tipos de tempo ciclónicos (C) representam as condições de circulação atmosférica que com maior frequência se verificam antes e no decurso dos eventos de cheia. O tipo de circulação C ocorre em 70% dos dias com ocorrências de cheias. Se analisarmos os dez dias anteriores à ocorrência das cheias, o tipo C registou-se em 45% dos dias.
- O tipo C ocorre sete vezes mais em dias com ocorrência de cheias do que em qualquer outro período.
- Na ocorrência de cheias progressivas, o tipo C é predominante, com uma proporção de 8 vezes mais em dias com ocorrência de cheias do que em qualquer outro período. O mesmo acontece às inundações urbanas, com o coeficiente de 7. Em contrapartida, o coeficiente é próximo de zero para os outros CWTs, no caso das cheias progressivas e inundações urbanas.
- Para a ocorrência de cheias rápidas, o tipo C continua a ser importante, com o coeficiente de 3 (ocorre três vezes mais em dias de cheias rápidas do que noutro período).
- Se olharmos para as estações do ano, no verão, os tipos A (anticiclónico) e E (vento leste) estão mais relacionados com a ocorrência de cheias. Isto pode dever-se a situações de chuvas intensas e espacialmente localizadas, nomeadamente geradas por trovoadas, estruturas atmosféricas que não são detetadas pelos CWTs, um vez que estes são identificados na larga escala.

---

**Objetivo 6. Caracterizar as cheias inventariadas nas bacias de estudo, do ponto de vista hidro-meteorológico.**

Na concretização deste objetivo analisamos as cheias inventariadas em cada bacia de estudo e com dados diários de precipitação e sempre que possível dados hidrométricos. Para além disto estudaram-se os dias cujo limiar do quíntuplo do módulo do caudal foi atingido ou superado, considerado como indicativo da ocorrência de uma cheia, de modo a verificar se os dias em que este limiar foi atingido são mais frequentes que as ocorrências registadas na BDC-N. Dos resultados sobressaem os seguintes aspetos:

- A maioria das cheias registadas ocorreu no inverno e afetando sobretudo as principais áreas urbanas das bacias do Vez, Este e Corgo. Na bacia do Vez, é a área da Valeta na vila de Arcos de Valdevez a mais afetada pelas ocorrências. Na bacia do Este, a cidade de Braga é a que regista mais ocorrências, devido sobretudo à artificialização do percurso do rio e à construção nos leitos de cheia. Na bacia do Corgo, a cidade de Vila Real é a mais afetada pelas ocorrências de cheias.
- A maioria das ocorrências das cheias registadas está, em parte, relacionada com a ocupação imprópria dos leitos de cheia.
- Na bacia do Vez, as precipitações acumuladas para durações superiores a um mês são fundamentais para o desencadeamento das cheias, enquanto na bacia do Este, bastam 2 a 5 dias de precipitação acumulada para desencadear a maioria das ocorrências. Na bacia do Corgo, verificam-se tanto, episódios de precipitação contínua e acumulada em durações superiores a 30 dias que desencadeiam cheias, como também episódios mais concentrados no tempo que são igualmente desencadeantes de cheias. Na bacia do Távora, o baixo número de ocorrências não permite tirar conclusões claras a este respeito.
- Em termos de proporção entre os eventos que estão na BDC-N e os eventos de cheia que atingiram o limiar, nas bacias onde é possível analisar este parâmetro (Vez, Este e Corgo), este valor situa-se entre os 2 e os 3%. São valores, relativamente baixos, em comparação com os dias que ultrapassaram o caudal de cheia, o que muito provavelmente deverá estar relacionado com o facto de estarmos a analisar apenas as ocorrências de cheias com danos reportados.
- É difícil concluir se a magnitude das cheias com dados reportados difere ou não relação da magnitude das cheias identificadas pelo limiar do quíntuplo do módulo do caudal, uma vez que só temos dados de caudal para poucos eventos.

- A análise às combinações críticas da quantidade/duração da precipitação permitiu verificar que a classificação do tipo de cheia, preenchida aquando da construção da BDC-N, apresenta algumas falhas. Num trabalho futuro as classificações das cheias devem ser revistas.

**Objetivo 7. Estabelecer limiares críticos de precipitação responsáveis pela ocorrência de cheias;**

Para a concretização deste objetivo, estabeleceram-se limiares com base nas combinações críticas: quantidade/duração e intensidade/duração dos eventos de cheias com dados de precipitação diária para as bacias em estudo e também para os dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia. Não foi possível estabelecer os limiares por tipologia de cheia, porque o número de ocorrências em cada bacia é insuficiente. Numa segunda fase foram determinados os limiares mínimo, máximo e de pré-aviso, que definem as fronteiras para que um evento possa ocorrer. Adicionalmente aplicaram-se os limiares definidos a diferentes eventos de cheia ocorridos no passado e com expressão nas bacias de estudo. Os resultados mostram que:

- Os limiares com base na combinação crítica: quantidade / duração apresentam melhores ajustamentos em todas as bacias. A concretização deste trabalho permitiu definir a estação meteorológica de referência para cada bacia, ou seja, a estação que apresentou o coeficiente de determinação mais elevado no ajustamento da combinação crítica quantidade/duração.
- Os limiares baseados nos dias que ultrapassaram o limiar de caudal de cheia apresentam coeficientes de determinação das combinações críticas quantidade/duração e intensidade/duração, bem mais baixos que os limiares baseados nos eventos de cheia. Estes resultados são explicados pelo facto de em alguns dias cujo limiar de caudal de cheia é atingido, o caudal continuar elevado apesar de já não se verificar precipitação.
- A análise da razão entre os eventos de cheia e os eventos de precipitação que ocorrem acima do limiar mínimo mostra probabilidades relativamente baixas de uma cheia acontecer (a probabilidade mais elevada acontece no Corgo, com 18%). Estes fracos resultados podem estar relacionados com o número reduzido de cheias inventariadas (apenas as que causaram danos reportados pela comunicação social e que provocaram algum tipo de dano).
- Os resultados do limiar máximo mostram que não é o ideal para a utilização nas cheias uma vez que a maioria dos verdadeiros positivos se encontra abaixo deste limite.

- Apesar da razão entre os eventos de cheia e os eventos de precipitação que ocorrem acima do limiar mínimo mostrar probabilidades relativamente baixas de uma cheia acontecer, a análise retrospectiva dos limiares definidos a eventos registados no passado em cada uma das bacias sugere que os limiares mínimo e de pré-aviso estão bem ajustados.

**Objetivo 8. Definir estratégias para a mitigação do risco de cheias na região Norte.**

A ocorrência de cheias é um processo complexo, geralmente desencadeado pela precipitação mas condicionado por múltiplos fatores.

Este trabalho pretende alertar para a importância do estudo da precipitação como fator desencadeante das cheias e através do seu estudo é possível estabelecer limiares que permitam a prevenção e atuação por parte das entidades competentes, em caso de ocorrência de valores de precipitação que se encontrem acima dos limiares definidos.

Os eventos de cheia registados na região Norte são sobretudo cheias progressivas que resultam da passagem consecutiva de sistemas frontais pelo território. Não quer isto dizer que não possam ocorrer cheias rápidas, principalmente nas regiões do Nordeste ou em locais onde os leitos de cheia estão indevidamente ocupados e um episódio de precipitação mesmo com um período de retorno mais baixo possa causar problemas.

Apesar de todas as limitações presentes neste trabalho, nomeadamente na disponibilidade de dados, conseguimos identificar as durações críticas que estão a ser atingidas pelos diferentes limiares de precipitação crítica que foram definidos. Neste contexto, os limiares de pré-aviso e mínimo podem representar, no futuro, uma primeira etapa na previsão e alerta de cheias. Para tal, é necessária a constituição de uma rede de monitorização em tempo real de dados hidro-meteorológicos que possam ser utilizadas pelas entidades competentes na prevenção de possíveis danos resultantes das cheias.

Este trabalho pretende aprofundar o conhecimento sobre as cheias e as precipitações desencadeantes destes eventos na região Norte. Para tal, aplicaram-se um conjunto de metodologias abrindo-se uma nova perspetiva na investigação das precipitações como fator desencadeante das cheias.

As cheias são eventos que podem causar danos pessoais bem como a destruição total ou parcial de edifícios, estradas, culturas ou terrenos agrícolas. A ocupação indevida de leitos de cheia por bens e populações agrava as possíveis consequências de um evento desta natureza.

Nesta dissertação procuramos integrar um conjunto de metodologias com o objetivo de minimizar os impactos de uma cheia e salvaguardar a qualidade de vida das populações. Desta

forma, o conhecimento das precipitações e a definição dos limiares contribuem para a avaliação do risco integrando os pressupostos de prevenção da Proteção civil, bem como, a análise no contexto do ordenamento do território. Por outro lado, a aplicação dos limiares de precipitação em tempo real contribuem para minimizar possíveis situações de pré-crise ou crise imediata, diminuindo as consequências e os recursos envolvidos em ações de emergência.

Deste modo, no futuro pretende-se alargar e completar a BDC-N, validando as ocorrências já registadas com os dados de precipitação e caudal. Assim, seria possível obter uma maior robustez nos limiares definidos e determinar os limiares críticos de precipitação por tipologia de cheia. É também de considerar, a determinação de limiares críticos de precipitação para outras áreas na região e que possam ser usados pela Proteção Civil em modelos de alerta de cheias.

## Referências Bibliográficas

## A

- Aguilar, E., Auer, I., Brunet, M., Peterson, T. C., & Wieringa, J. (2003). *Guidelines on climate metadata and homogenization*. Geneva: World Meteorological Organization.
- Aguilar, E., Peterson, T. C., Obando, P. R., Frutos, R., Retana, J. A., Solera, M., Soley, J., García, I. G., Araujo, R. M., Santos, A. R., Valle, V. E., Brunet, M., Aguilar, L., Álvarez, L., Bautista, M., Castañón, C., Herrera, L., Ruano, E., Sinay, J. J., Sánchez, E., Oviedo, G. I. H., Obed, F., Salgado, J. E., Vázquez, J. L., Baca, M., Gutiérrez, M., Centella, C., Espinosa, J., Martínez, D., Olmedo, B., Espinoza, C. E. O., Núñez, R., Haylock, M., Benavides, H., & Mayorga, R. (2005). Changes in precipitation and temperature extremes in Central America and northern South America, 1961-2003. *J. Geophys. Res.*, 110(D23), D23107. doi: 10.1029/2005jd006119
- Alexander, L. V., Zhang, X., Peterson, T. C., Caesar, J., Gleason, B., Klein Tank, A. M. G., Haylock, M., Collins, D., Trewin, B., Rahimzadeh, F., Tagipour, A., Rupa Kumar, K., Revadekar, J., Griffiths, G., Vincent, L., Stephenson, D. B., Burn, J., Aguilar, E., Brunet, M., Taylor, M., New, M., Zhai, P., Rusticucci, M., & Vazquez-Aguirre, J. L. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res.*, 111(D5), D05109. doi: 10.1029/2005jd006290
- Alexandersson, H. (1986). A homogeneity test applied to precipitation data. *J. Climate*, 6, 661-675. doi: 10.1002/joc.3370060607
- Alfieri, L., & Thielen, J. (2015). A European precipitation index for extreme rain-storm and flash flood early warning. *Meteorological Applications*, 22(1), 3-13. doi: 10.1002/met.1328
- Almeida, J. A. (2009). A cheia do Rio Douro de 1962 from <http://escritosdodouro.blogspot.pt/2009/03/cheia-do-rio-douro-de-1962.html>
- Anderson, T. W., & Darling, D. A. (1954). A Test of Goodness of Fit. *Journal of the American Statistical Association*, 49(268), 765-769. doi: 10.1080/01621459.1954.10501232
- Andrade, C., Leite, S. M., & Santos, J. A. (2012). Temperature extremes in Europe: overview of their driving atmospheric patterns. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12(5), 1671-1691. doi: 10.5194/nhess-12-1671-2012
- APA. (2012a). *Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas que integram a Região Hidrográfica do Cávado, Ave e Leça (RH2)*.
- APA. (2012b). *Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas que integram a Região Hidrográfica do Douro (RH3)*.
- APA. (2012c). *Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas que integram a Região Hidrográfica do Minho e Lima (RH1)*.
- APA. (2015). *Plano Nacional da Água*. Lisboa: Agência Portuguesa do Ambiente
- Apel, H., Aronica, G. T., Kreibich, H., & Thielen, A. H. (2009). Flood risk analyses—how detailed do we need to be? *Nat. Hazards*, 49(1), 79-98. doi: 10.1007/s11069-008-9277-8
- Arnold, C. L., & Gibbons, C. J. (1996). Impervious Surface Coverage: The Emergence of a Key Environmental Indicator. *Journal of the American Planning Association*, 62(2), 243-258. doi: 10.1080/01944369608975688
- Ascenso, V. (2011). *Análise da ocorrência de cheias e deslizamentos de vertente no concelho da Batalha*. (Tese de Mestrado), Universidade de Lisboa, Lisboa.

Avó, N. (2014). *Decis de precipitação em Portugal continental (1951-1980 e 1981-2010): Cartografia e aspetos evolutivos*. (Tese de Mestrado), Universidade de Lisboa, Lisboa.

## B

- Bárdossy, A., & Filiz, F. (2005). Identification of flood producing atmospheric circulation patterns. *J. Hydrol.*, 313(1–2), 48-57. doi: 10.1016/j.jhydrol.2005.02.006
- Barnolas, M., & Llasat, M. C. (2007). A flood geodatabase and its climatological applications: the case of Catalonia for the last century. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 7(2), 271-281. doi: 10.5194/nhess-7-271-2007
- Barredo, J. (2007). Major flood disasters in Europe: 1950–2005. *Nat. Hazards*, 42(1), 125-148. doi: 10.1007/s11069-006-9065-2
- Bartolini, G., Morabito, M., Crisci, A., Grifoni, D., Torrigiani, T., Petralli, M., Maracchi, G., & Orlandini, S. (2008). Recent trends in Tuscany (Italy) summer temperature and indices of extremes. *Int. J. Climatol.*, 28(13), 1751-1760. doi: 10.1002/joc.1673
- Bastos, L., Bio, A., Pinho, J. L. S., Granja, H., & Jorge da Silva, A. (2012). Dynamics of the Douro estuary sand spit before and after breakwater construction. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 109(0), 53-69. doi: 10.1016/j.ecss.2012.05.017
- Bateira, C., Pereira, S., Martins, L., & Santos, M. (2007). *Plano Regional de Ordenamento do Território do Norte – PROT-NORTE. Temática: Riscos extensivos*. Porto: CCDRN.
- Begert, M., Schlegel, T., & Kirchhofer, W. (2005). Homogeneous temperature and precipitation series of Switzerland from 1864 to 2000. *Int. J. Climatol.*, 25(1), 65-80. doi: 10.1002/joc.1118
- Benhamrouche, A., Boucherf, D., Hamadache, R., Bendahmane, L., Martin-Vide, J., & Teixeira Nery, J. (2015). Spatial distribution of the daily precipitation concentration index in Algeria. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 15(3), 617-625. doi: 10.5194/nhess-15-617-2015
- Benhamrouche, A., & Martín Vide, J. (2012). Avances metodológicos en el análisis de la concentración diaria de la precipitación en la España peninsular. *Anales de Geografía*, 32(1), 11-27. doi: 10.5209/rev\_AGUC.2012.v32.n1.39306
- Booth, E. L. J., Byrne, J. M., & Johnson, D. L. (2012). Climatic changes in western North America, 1950–2005. *Int. J. Climatol.*, 32(15), 2283-2300. doi: 10.1002/joc.3401
- Borga, M., Anagnostou, E. N., Blöschl, G., & Creutin, J. D. (2011). Flash flood forecasting, warning and risk management: the HYDRATE project. *Environmental Science & Policy*, 14(7), 834-844. doi: 10.1016/j.envsci.2011.05.017
- Bormann, H., Pinter, N., & Elfert, S. (2011). Hydrological signatures of flood trends on German rivers: Flood frequencies, flood heights and specific stages. *J. Hydrol.*, 404(1–2), 50-66. doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.04.019
- Bracken, L. J., Cox, N. J., & Shannon, J. (2008). The relationship between rainfall inputs and flood generation in south-east Spain. *Hydrol. Process.*, 22(5), 683-696. doi: 10.1002/hyp.6641
- Brandão, C. (1995). *Análise de Precipitações Intensas*. (Tese de Mestrado), Instituto Superior Técnico, Lisboa.
- Brooks, C. E. P., & Carruthers, N. B. (1953). *Handbook of statistical methods in meteorology*. London H.M. Stationery Off.
- Brown, C. (1998). Coefficient of Variation *Applied Multivariate Statistics in Geohydrology and Related Sciences* (pp. 155-157): Springer Berlin Heidelberg.
- Buijn, K. d., Beckers, J., & van der Most, H. (2010). Casualty risks in the discussion on new flood protection standards in the Netherlands. In D. D. Wraichen, D. Proverbs, C. A. Brebbia, & S. Mambretti (Eds.), *Flood Recovery, Innovation and Response II* (pp. 73-84). UK: WIT Press.



- Brunet, M., Sigró, J., Jones, P. D., Saladié, O., Aguilar, E., Moberg, A., Lister, D., & Walther, A. (2007). Long-term changes in extreme temperatures and precipitation in Spain. *Contributions to science*, 3(3), 331-342. doi: 10.2436/20.7010.01.11
- Buishand, T. A. (1982). Some methods for testing the homogeneity of rainfall records. *J. Hydrol.*, 58, 11-27. doi: 10.1016/0022-1694(82)90066-X
- Burns, D. A., Klaus, J., & McHale, M. R. (2007). Recent climate trends and implications for water resources in the Catskill Mountain region, New York, USA. *J. Hydrol.*, 336(1-2), 155-170. doi: 10.1016/j.jhydrol.2006.12.019
- Burrough, P. A. (1986). *Principles of geographical information systems for land resources assessment* (12 ed.). Oxford: Clarendon Press (Oxford Oxfordshire and New York)

## C

- Calvello, M., d'Orsi, R. N., Piciullo, L., Paes, N., Magalhaes, M., & Lacerda, W. A. (2015). The Rio de Janeiro early warning system for rainfall-induced landslides: Analysis of performance for the years 2010–2013. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 12(0), 3-15. doi: 10.1016/j.ijdrr.2014.10.005
- Carrera-Hernandez, J. J., & Gaskin, S. J. (2007). Spatio temporal analysis of daily precipitation and temperature in the Basin of Mexico *J. Hydrol.*, 336, 231- 249. doi: 10.1016/j.jhydrol.2006.12.021
- Carvalho, E. (2004). Obras no ribeiro de Vila Fonche acabam com cheias na Valeta. *Diário do Minho*.
- Casado, M. J., Pastor, M. A., & Doblas-Reyes, F. J. (2010). Links between circulation types and precipitation over Spain. *Phys Chem Earth*, 35(9–12), 437-447. doi: 10.1016/j.pce.2009.12.007
- Ceresetti, D., Ursu, E., Carreau, J., Anquetin, S., Creutin, J. D., Gardes, L., Girard, S., & Molinié, G. (2012). Evaluation of classical spatial-analysis schemes of extreme rainfall. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12(11), 3229-3240. doi: 10.5194/nhess-12-3229-2012
- Chen, P., & Pin-Shan, P. (1976). The Entity-Relationship Model - Toward a Unified View of Data. *ACM Transactions on Database Systems*, 1, 9-36. doi: 10.1145/320434.320440
- Chow, V. T. (1956). Hydrologic Studies of Floods in the United States. *Internat. Assoc. Sci. Hydrol.*, 42, 134-170.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. New York: McGraw-Hill Book Co.
- Codd, E. F. (1970). A relational model of data for large shared data banks. *Commun. ACM*, 13(6), 377-387. doi: 10.1145/362384.362685
- Compo, G. P., Whitaker, J. S., Sardeshmukh, P. D., Matsui, N., Allan, R. J., Yin, X., Gleason, B. E., Vose, R. S., Rutledge, G., Bessemoulin, P., Brönnimann, S., Brunet, M., Crouthamel, R. I., Grant, A. N., Groisman, P. Y., Jones, P. D., Kruk, M. C., Kruger, A. C., Marshall, G. J., Maugeri, M., Mok, H. Y., Nordli, Ø., Ross, T. F., Trigo, R. M., Wang, X. L., Woodruff, S. D., & Worley, S. J. (2011). The Twentieth Century Reanalysis Project. *Q. J. Roy. Meteor. Soc.*, 137(654), 1-28. doi: 10.1002/qj.776
- Cony M, Hernández E, & Del Teso, T. (2008). Influence of synoptic scale in the generation of extreme cold days in Europe. *Atmosfera*, 21(4), 389-401.
- Correia, F. N. (1984). *Proposta de um Método para a Determinação de Caudais de Cheia em Pequenas Bacias Naturais e Urbanas*. Paper presented at the Seminário Contribuição para o Estudo de Métodos de Cálculo de Drenagem de Águas Pluviais em Zonas Urbanas, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.

- Cortesi, N., Gonzalez-Hidalgo, J. C., Brunetti, M., & Martin-Vide, J. (2012). Daily precipitation concentration across Europe 1971–2010. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12(9), 2799–2810. doi: 10.5194/nhess-12-2799-2012
- Costa, A. C., & Soares, A. (2009). Trends in extreme precipitation indices derived from a daily rainfall database for the South of Portugal. *Int. J. Climatol.*, 29, 1956–1975. doi: 10.1002/joc.1834
- Costa, F. d. S., Alonso, J. M., Arnaud-Fassetta, G., & Marques, A. (2012). As grandes cheias de Ponte de Lima - Uma abordagem metodológica a análise do risco de inundação na perspectiva da directiva relativa a avaliação e gestão dos riscos de inundação. *Revista Geonorte*, 1(4), 487–500.
- Costa, F. S. (2008). *As grandes cheias de Amarante fatalidade, aleatoriedade e incerteza*. Paper presented at the II Congresso Histórico de Amarante., Amarante.
- Costa, P. C. (1986). As cheias rápidas de 1967 e 1983 na região de Lisboa. In R. S. Brito (Ed.), *Livro de Homenagem a Mariano Feio* (pp. 601–616). Lisboa.

## D

- Dahal, R. K., & Hasegawa, S. (2008). Representative rainfall thresholds for landslides in the Nepal Himalaya. *Geomorphology*, 100(3–4), 429–443. doi: 10.1016/j.geomorph.2008.01.014
- Daly, C., Gibson, W. P., Taylor, G. H., Johnson, G. L., & Pasteris, P. (2002). A knowledge-based approach to the statistical mapping of climate. *Climate Res.*, 22(2), 99–113. doi: 10.3354/cr022099
- Daveau, S. (1977). *R partition et rytme des pr cipitations au Portugal* (Vol. 3). Lisboa: Editorial Império.
- Daveau, S. (2000). *Portugal Geográfico*. Lisboa.
- Daveau, S., Almeida, G., Feio, M., Rebelo, F., Silva, R. F. M., & Sobrinho, A. (1978). Os temporais de Fevereiro / Março de 1978. *Finisterra*, 26.
- Daveau, S., Ribeiro, O., & Lautensach, H. (1988). *Geografia de Portugal, o ritmo climático e a paisagem*. Lisboa: Edições João S  da Costa.
- De Luis, M., González-Hidalgo, J. C., Longares, L. A., & Štepan k, P. (2009). Seasonal precipitation trends in the Mediterranean Iberian Peninsula in second half of 20th century. *Int. J. Climatol.*, 29(9), 1312–1323. doi: 10.1002/joc.1778
- Department, P. (2011). Chapter 12 - Miscellaneous Planning Standards and Guidelines *Hong Kong Planning Standards and Guidelines* (pp. 1–54). Hong Kong: Hong Kong Government.
- Devoli, G., Morales, A., & H eg, K. (2007). Historical landslides in Nicaragua - collection and analysis of data. *Landslides*, 4(1), 5–18. doi: 10.1007/s10346-006-0048-x
- DGT. (2006). *Programa Nacional da Política de Ordenamento do Território (PNPOT)*. Lisboa: Dire  o Geral do Território.
- Diakakis, M. (2012). Rainfall thresholds for flood triggering. The case of Marathonas in Greece. *Nat. Hazards*, 60, 789–800. doi: 10.1007/s11069-011-9904-7
- Díez-Herrero, A., Huerta, L. L., & Isidro, M. L. (2009). *A handbook on flood hazard mapping methodologies*. Madrid: Geological Survey of Spain.
- Diodato, N. (2005). The influence of topographic co-variables on the spatial variability of precipitation over small regions of complex terrain. *Int. J. Climatol.*, 25(3), 351–363. doi: 10.1002/joc.1131
- Dirks, K. N., Hay, J. E., Stow, C. D., & Harris, D. (1998). High-resolution studies of rainfall on Norfolk Island: Part II: Interpolation of rainfall data. *J. Hydrol.*, 208(3–4), 187–193. doi: 10.1016/S0022-1694(98)00155-3

- Douben, K. (2006). Characteristics of river floods and flooding: a global overview, 1985–2003. *Irrig. and Drain.*, 55, S9-S21. doi: 10.1002/ird.239
- Duckstein, L., Bárdossy, A., & Bogárdi, I. (1993). Linkage between the occurrence of daily atmospheric circulation patterns and floods: an Arizona case study. *J. Hydrol.*, 143(3–4), 413-428. doi: 10.1016/0022-1694(93)90202-K
- Durão, R. M., Pereira, M. J., Costa, A. C., Delgado, J., del Barrio, G., & Soares, A. (2010). Spatial–temporal dynamics of precipitation extremes in southern Portugal: a geostatistical assessment study. *Int. J. Climatol.*, 30(10), 1526-1537. doi: 10.1002/joc.1999

## E

- Elmasri, R., & Navathe, S. B. (2011). *Fundamentals of Database Systems*. Boston: Pearson / Addison Wesley.
- EM-DAT. (2014). The OFDA/CRED International Disaster Database. Retrieved Accessed July 2014, from [www.emdat.be](http://www.emdat.be)
- Espinoza, J., Lengaigne, M., Ronchail, J., & Janicot, S. (2012). Large-scale circulation patterns and related rainfall in the Amazon Basin: a neuronal networks approach. *Climate Dynam.*, 38(1-2), 121-140. doi: 10.1007/s00382-011-1010-8

## F

- Fan, X., Wang, Q., & Wang, M. (2012). Changes in temperature and precipitation extremes during 1959-2008 in Shanxi, China. *Theor. Appl. Climatol.*, 109, 283-303. doi: 10.1007/s00704-011-0577-7
- Ferreira, D., & Ferreira, A. (2004). Aspectos gerais. In S. Daveau & M. Feio (Eds.), *O relevo de Portugal: grandes unidades regionais* (Vol. volume II, pp. 9-20). Coimbra: Associação Portuguesa de Geomorfólogos.
- Ferreira, D. B. (1985). Les depressions convectives du bassin atlantique nord subtropical oriental *Finisterra*, XX(39), 25-45.
- Ferreira, D. B. (2005). O Ambiente Climático. In C. A. Medeiros (Ed.), *Geografia de Portugal Vol. I - Ambiente Físico* (Vol. I, pp. 495). Lisboa: Círculo de Leitores.
- Ferrér, M., Rodríguez, J., & Estrela, T. (1995). Generación automática del Número de Curva con Sistemas de información Geográfica. *Ingeniería del Agua*, 2(4), 43-58.
- Fraga, H., Malheiro, A. C., Moutinho-Pereira, J., & Santos, J. A. (2014). Climate factors driving wine production in the Portuguese Minho region. *Agric. For. Meteorol.*, 185(0), 26-36. doi: 10.1016/j.agrformet.2013.11.003
- Fragoso, M. (2003). *Climatologia das precipitações intensas no sul de Portugal*. (Tese de Doutoramento), Universidade de Lisboa, Lisboa.

## G

- Gaál, L., Molnar, P., & Szolgay, J. (2014). Selection of intense rainfall events based on intensity thresholds and lightning data in Switzerland. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18(5), 1561-1573. doi: 10.5194/hess-18-1561-2014
- Gallego, M. C., Trigo, R. M., Vaquero, J. M., Brunet, M., García, J. A., Sigró, J., & Valente, M. A. (2011). Trends in frequency indices of daily precipitation over the Iberian Peninsula during the last century. *J. Geophys. Res.*, 116, D02109. doi: 10.1029/2010JD014255
- García, F. F. (1996). *Manual de climatología aplicada: clima, medio ambiente y planificación*. Madrid: Editorial Síntesis.

- Garde, R. J. (2006). *River Morphology*. New Delhi: New Age International Pvt Ltd Publishers
- Gariano, S. L., Brunetti, M. T., Iovine, G., Melillo, M., Peruccacci, S., Terranova, O., Vennari, C., & Guzzetti, F. (2015). Calibration and validation of rainfall thresholds for shallow landslide forecasting in Sicily, southern Italy. *Geomorphology*, 228(0), 653-665. doi: 10.1016/j.geomorph.2014.10.019
- Golian, S., Saghafian, B., & Maknoon, R. (2010). Derivation of Probabilistic Thresholds of Spatially Distributed Rainfall for Flood Forecasting. *Water Resour. Manag.*, 24(13), 3547-3559. doi: 10.1007/s11269-010-9619-7
- Gomes, S. A. L. G., & Costa, F. S. (2004). *As cheias urbanas em Amarante: o caso da cheia do rio Tâmega em 2001*. Paper presented at the 7º Congresso da Água, Lisboa.
- Gonçalves, M. d. G. S. (2009). *Ordenamento e Áreas Inundáveis Urbanizadas em Arcos de Valdevez e Ponte da Barca entre 1900 a 2007*. (Tese de Mestrado), Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Porto.
- Goodess, C. M., & Jones, P. D. (2002). Links between circulation and changes in the characteristics of Iberian rainfall. *Int. J. Climatol.*, 22(13), 1593-1615. doi: 10.1002/joc.810
- Goossens, C., & Berger, A. (1986). Annual and seasonal climatic variations over the Northern Hemisphere and Europe during the last century. *Ann. Geophys.*, 4, 385-400.
- Goovaerts, P. (2000). Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. *J. Hydrol.*, 228(1-2), 113-129. doi: 10.1016/S0022-1694(00)00144-X
- Grauso, S., Diodato, N., & Verrubbi, V. (2010). Calibrating a rainfall erosivity assessment model at regional scale in Mediterranean area. *Environ. Earth Sci*, 60, 1597-1606. doi: 10.1007/s12665-009-0294-z
- Gregory, K. J., & Walling, D. E. (1973). *Drainage basin form and process: a geomorphological approach*. New York: Wiley.
- Gumbel, E. J. (1958). *Statistics of extremes*. New York: Columbia University Press.
- Guzzetti, F. (2000). Landslide fatalities and the evaluation of landslide risk in Italy. *Engineering Geology*, 58(2), 89-107. doi: 10.1016/S0013-7952(00)00047-8
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., & Stark, C. P. (2007). Rainfall thresholds for the initiation of landslides in central and southern Europe. *Meteorology and Atmospheric Physics*, 98(3-4), 239-267. doi: 10.1007/s00703-007-0262-7
- Guzzetti, F., Stark, C., & Salvati, P. (2005). Evaluation of flood and landslide risk to the population of Italy. *Environmental Management*, 36(1), 15-36. doi: 10.1007/s00267-003-0257-1
- Guzzetti, F., & Tonelli, G. (2004). Information system on hydrological and geomorphological catastrophes in Italy (SICI): a tool for managing landslide and flood hazards. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 4, 213-232. doi: 10.5194/nhess-4-213-2004

## H

- Haberlandt, U. (2007). Geostatistical interpolation of hourly precipitation from rain gauges and radar for a large-scale extreme rainfall event. *J. Hydrol.*, 332(1-2), 144-157. doi: 10.1016/j.jhydrol.2006.06.028
- Hapuarachchi, H. A. P., Wang, Q. J., & Pagano, T. C. (2011). A review of advances in flash flood forecasting. *Hydrol. Process.*, 25(18), 2771-2784. doi: 10.1002/hyp.8040
- Hidalgo-Muñoz, J. M., Argüeso, D., Gámiz-Fortis, S. R., Esteban-Parra, M. J., & Castro-Díez, Y. (2011). Trends of extreme precipitation and associated synoptic patterns over the southern Iberian Peninsula. *J. Hydrol.*, 409(1-2), 497-511. doi: 10.1016/j.jhydrol.2011.08.049

- Hipólito, J. R., & Vaz, A. C. (2011). *Hidrologia e Recursos Hídricos*. Lisboa: IST Press.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: hydro-physical approach to quantitative morphology. *Geological Society of America Bulletin*, 56(3), 275-370. doi: 10.1130/0016-7606(1945)56[275:EDOSAT]2.0.CO;2

I

- INAG. (2002). *Plano Nacional da Água*. Lisboa: Instituto da Água.
- IPMA, & AEM. (2011). *Atlas Climático Ibérico*.
- Isaaks, E. H., & Srivastava, R. M. (1989). *An Introduction to Applied Geostatistics* (O. U. Press Ed.). New York.

J

- Jacobeit, J., Philipp, A., & Nonnenmacher, M. (2006). Atmospheric circulation dynamics linked with prominent discharge events in Central Europe. *Hydrolog. Sci. J.*, 51(5), 946-965. doi: 10.1623/hysj.51.5.946
- Jhajharia, D., Dinpashoh, Y., Kahya, E., Singh, V. P., & Fakheri-Fard, A. (2012). Trends in reference evapotranspiration in the humid region of northeast India. *Hydrol. Process.*, 26(3), 421-435. doi: 10.1002/hyp.8140
- Jiang, W., Deng, L., Chen, L., Wu, J., & Li, J. (2009). Risk assessment and validation of flood disaster based on fuzzy mathematics. *Progress in Natural Science*, 19(10), 1419-1425. doi: 10.1016/j.pnsc.2008.12.010
- Jones, A. A. (2000). Physical causes and characteristics of floods. In D. J. Parker (Ed.), *Floods* (Vol. II, pp. 93-112). London: Routledge.
- Jonkman, S. N. (2005). Global Perspectives on Loss of Human Life Caused by Floods. *Nat. Hazards*, 34(2), 151-175. doi: 10.1007/s11069-004-8891-3
- Jonkman, S. N., van Gelder, P. H., & Vrijling, J. K. (2003). An overview of quantitative risk measures for loss of life and economic damage. *Journal of hazardous materials*, 99(1), 1-30. doi: 10.1016/S0304-3894(02)00283-2
- Julião, R. P., Nery, F., Ribeiro, J. L., Castelo Branco, M., & Zêzere, J. L. (2009). Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal (Autoridade Nacional de Protecção Civil ed., pp. 93). Lisboa.
- Jung, I.-W., Bae, D.-H., & Kim, G. (2011). Recent trends of mean and extreme precipitation in Korea. *Int. J. Climatol.*, 31(3), 359-370. doi: 10.1002/joc.2068

K

- Kebaili Bargaoui, Z., & Chebbi, A. (2009). Comparison of two kriging interpolation methods applied to spatiotemporal rainfall. *J. Hydrol.*, 365(1-2), 56-73. doi: 10.1016/j.jhydrol.2008.11.025
- Kendall, S. (1976). *Time Series* (Oxford Univ. Press ed.). New York.
- Knocke, E. T., & Kolivras, K. N. (2007). Flash Flood Awareness in Southwest Virginia. *Risk Anal.*, 27(1), 155-169. doi: 10.1111/j.1539-6924.2006.00866.x
- Kolmogorov, A. (1956). *Foundations of the Theory of Probability* (2 ed.). New York: Chelsea Publishing Company.

- Kourgialas, N. N., Karatzas, G. P., & Nikolaidis, N. P. (2012). Development of a thresholds approach for real-time flash flood prediction in complex geomorphological river basins. *Hydrol. Process.*, 26(10), 1478-1494. doi: 10.1002/hyp.8272
- Kron, W., Steuer, M., Löw, P., & Wirtz, A. (2012). How to deal properly with a natural catastrophe database – analysis of flood losses. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 535-550. doi: 10.5194/nhess-12-535-2012

## L

- Leal, M. (2011). *As cheias rápidas em bacias hidrográficas da AML Norte: factores condicionantes e desencadeantes*. (Tese de Mestrado), Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Leal, M., & Ramos, C. (2013). Susceptibilidade às cheias na Área Metropolitana de Lisboa Norte: Factores de predisposição e impactes das mudanças de uso do solo. *Finisterra*, 95, 17-40.
- Lencastre, A., & Franco, F. M. (2003). *Lições de Hidrologia*. Caparica: Fundação Armando Lencastre.
- Li, X., Jiang, F., Li, L., & Wang, G. (2011). Spatial and temporal variability of precipitation concentration index, concentration degree and concentration period in Xinjiang, China. *Int. J. Climatol.*, 31(11), 1679-1693. doi: 10.1002/joc.2181
- Lima, J., & Lima, I. (2010). Conceitos Básicos de Hidrologia. In J. P. Lima (Ed.), *Hidrologia Urbana - Conceitos Básicos*. (pp. 143-175). Lisboa: Universidade de Coimbra e Entidade Reguladora dos Serviços de Água e Resíduos.
- Llasat, M.-C., Barriendos, M., Barrera, A., & Rigo, T. (2005). Floods in Catalonia (NE Spain) since the 14th century. Climatological and meteorological aspects from historical documentary sources and old instrumental records. *J. Hydrol.*, 313(1-2), 32-47. doi: 10.1016/j.jhydrol.2005.02.004
- Longley, P. A., Goodchild, M. F., Maguire, D. J., & Rhind, D. W. (2005). *Geographic Information Systems and Science*. England: John Wiley & Sons Ltd.
- Lúcio, C. M. C. (2014). *Análise do comportamento hidrológico da bacia hidrográfica do rio de Loures e modelação da sua susceptibilidade a cheias*. (Tese de Mestrado), Universidade de Lisboa, Lisboa. (139)
- Ly, S., Charles, C., & Degré, A. (2011). Geostatistical interpolation of daily rainfall at catchment scale: the use of several variogram models in the Ourthe and Ambleve catchments, Belgium. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15(7), 2259-2274. doi: 10.5194/hess-15-2259-2011

## M

- Maaskant, B., Jonkman, S. N., & Bouwer, L. M. (2009). Future risk of flooding: an analysis of changes in potential loss of life in South Holland (The Netherlands). *Environmental Science & Policy*, 12(2), 157-169. doi: 10.1016/j.envsci.2008.11.004
- Martín-Vide, J. (2004). Spatial distribution of a daily precipitation concentration index in peninsular Spain. *Int. J. Climatol.*, 24(8), 959-971. doi: 10.1002/joc.1030
- Martina, M. L. V., Todini, E., & Libralon, A. (2006). A Bayesian decision approach to rainfall thresholds based flood warning. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 10, 413-426. doi: 10.5194/hess-10-413-2006
- Martinez, C. J., Maleski, J. J., & Miller, M. F. (2012). Trends in precipitation and temperature in Florida, USA. *J. Hydrol.*, 452-453(0), 259-281. doi: 10.1016/j.jhydrol.2012.05.066

- Martínez, M. D., Serra, C., Burgueño, A., & Lana, X. (2010). Time trends of daily maximum and minimum temperatures in Catalonia (ne Spain) for the period 1975–2004. *Int. J. Climatol.*, 30(2), 267–290. doi: 10.1002/joc.1884
- Masson, D., & Frei, C. (2014). Spatial analysis of precipitation in a high-mountain region: exploring methods with multi-scale topographic predictors and circulation types. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 18(11), 4543–4563. doi: 10.5194/hess-18-4543-2014
- Medeiros, C. A. (2000). *Geografia de Portugal - Ambiente Natural e Ocupação Humana - Uma Introdução* Lisboa: Editorial Estampa.
- Melton, M. A. (1957). An analysis of the relations among elements of climate, surface properties, and geomorphology. In T. R. 11 (Ed.). New York: Dep. of Geol., Columbia Univ.
- Miller, V. C. (1953). A quantitative geomorphic study of drainage basin characteristics in the Clinch Mountain area, Virginia and Tennessee. In T. Report (Ed.), (Vol. 3). New York: Columbia University, Department of Geology.
- Ministerio de Agricultura, A. y. M. A. (2013). *Propuesta de Proyecto de Plan cuenca del Ebro - Inventário Recursos Hídricos*. Madrid.
- Mitas, L., & Mitasova, H. (2005). Spatial interpolation. In P. A. Longley, M. F. Goodchild, D. J. Maguire, & D. W. Rhind (Eds.), *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications* (2nd edition ed., pp. 481–492): Wiley.
- Moberg, A., & Jones, P. D. (2005). Trends in indices for extremes in daily temperature and precipitation in central and western Europe, 1901–99. *Int. J. Climatol.*, 25(9), 1149–1171. doi: 10.1002/joc.1163
- Moral, F. J. (2010). Comparison of different geostatistical approaches to map climate variables: application to precipitation. *Int. J. Climatol.*, 30(4), 620–631. doi: 10.1002/joc.1913
- Moreira, A., & Simões, M. (1988). *Notícia explicativa da Folha 1- D Arcos de Valdevez*. Lisboa: Serviços Geológicos de Portugal.

## N

- Naghetini, M., & Pinto, É. J. (2007). *Hidrologia Estatística*. Belo Horizonte: CPRM - Serviço Geológico do Brasil.
- Nicolau, M. (1999). *Avaliação da qualidade de séries de registos de precipitação anual com vista à selecção, ajustamento e completamento das mesmas para posterior modelação da variabilidade espacial da pluviosidade*. Lisboa: Centro Nacional de Informação Geográfica.
- Nicolau, M. (2002). *Modelação e mapeamento da distribuição espacial de precipitação uma aplicação a Portugal Continental*. (Tese de Doutoramento), Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- NOAA. (2010). *Flash Flood Early Warning System Reference Guide*. Boulder: University Corporation for Atmospheric Research, COMET Program.
- Norrant, C., & Douguédroit, A. (2006). Monthly and daily precipitation trends in the Mediterranean (1950–2000). *Theor. Appl. Climatol.*, 83(1), 89–106. doi: 10.1007/s00704-005-0163-y
- Nunes, A. (2004). Uso do solo em Portugal Continental: Aspectos gerais da sua evolução. *Cadernos de Geografia*, 21/23, 91–103.

## O



- Oliveira, A. T. C. (2001). *Dinâmica da matéria particulada em suspensão na plataforma continental minhota - sua relação com a cobertura sedimentar*. (Tese de Doutoramento), Universidade do Algarve Faro.
- Oliveira, M. M., & Lobo Ferreira, J. P. C. (2002). *Proposta de uma Metodologia para a Definição de Áreas de Infiltração Máxima*. Paper presented at the 6º Congresso da Água, Porto.
- Oliveira, P. (2003). *Inundações na Cidade de Lisboa. Estudo de Hidrogeografia Urbana*. Lisboa: Centro de Estudos Geográficos da Universidade de Lisboa.
- Oliveira, S., Zêzere, J. L., & Garcia, R. A. (2014). Determinação de limiares de precipitação para o desencadeamento de movimentos de vertente na bacia do Rio Grande da Pipa, Arruda dos Vinhos. . *Comunicações Geológicas*, 101, 919-922.
- Oliveira, S. M. C. d. (2012). *Incidência Espacial e Temporal da Instabilidade Geomorfológica na Bacia do Rio Grande da Pipa (Arruda dos Vinhos)*. (Tese de doutoramento), Universidade de Lisboa, Lisboa.

## P

- Pallard, B., Castellarin, A., & Montanari, A. (2009). A look at the links between drainage density and flood statistics. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 13(7), 1019-1029. doi: 10.5194/hess-13-1019-2009
- Paredes, D., Trigo, R. M., Garcia-Herrera, R., & Trigo, I. F. (2006). Understanding Precipitation Changes in Iberia in Early Spring: Weather Typing and Storm-Tracking Approaches. *J. Hydrometeorol.*, 7(1), 101-113. doi: 10.1175/JHM472.1
- Parker, D. J. (2000). *Floods Volume II* (Vol. 2). London: Routledge.
- Pattison, I., & Lane, S. N. (2012). The relationship between Lamb weather types and long-term changes in flood frequency, River Eden, UK. *Int. J. Climatol.*, 32(13), 1971-1989. doi: 10.1002/joc.2415
- Pereira, S. (2009). *Perigosidade a movimentos de vertente na região Norte de Portugal*. (Tese de Doutoramento), Faculdade de Letras da Universidade do Porto, Porto.
- Pereira, S., Zêzere, J. L., & Bateira, C. (2009). *Estabelecimento de limiares de precipitação de base empírica para a ocorrência de fluxos de lama e de detritos no Norte de Portugal*, Braga.
- Perry, C. A. (2000). *Significant floods in the United States during the 20th Century - USGS measures a century of floods*. U.S. Geological Survey.
- Peterson, T. C., Easterling, D. R., Karl, T. R., Groisman, P., Nicholls, N., Plummer, N., Torok, S., Auer, I., Boehm, R., Gullett, D., Vincent, L., Heino, R., Tuomenvirta, H., Mestre, O., Szentimrey, T., Salinger, J., Førland, E. J., Hanssen-Bauer, I., Alexandersson, H., Jones, P., & Parker, D. (1998). Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review. *Int. J. Climatol.*, 18, 1493-1517. doi: 10.1002/(SICI)1097-0088(19981115)18:13<1493::AID-JOC329>3.0.CO;2-T
- Petrow, T., Zimmer, J., & Merz, B. (2009). Changes in the flood hazard in Germany through changing frequency and persistence of circulation patterns. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 9(4), 1409-1423. doi: 10.5194/nhess-9-1409-2009
- Pettit, A. N. (1979). A non-parametric approach to the change-point detection. *Appl. Stat.*, 28, 126-135. doi: 10.2307/2346729
- Pilz, J., & Spöck, G. (2008). Why do we need and how should we implement Bayesian kriging methods. *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment*, 22(5), 621-632. doi: 10.1007/s00477-007-0165-7
- Pimenta, M. T. (1998). *Directrizes para Aplicação da Equação Universal de Perda dos Solos em SIG. Factor de Cultura C e Factor de Erodibilidade do Solo K*. Lisboa: Relatórios Técnicos - INAG/SNIRH.

- Plaut, G., & Simonnet, E. (2001). Large-scale circulation classification, weather regimes, and local climate over France, the Alps and Western Europe. *Climate Res.*, 17(3), 303-324. doi: 10.3354/cr017303
- Portalés, C., Boronat, N., Pardo-Pascual, J. E., & Balaguer-Beser, A. (2010). Seasonal precipitation interpolation at the Valencia region with multivariate methods using geographic and topographic information. *Int. J. Climatol.*, 30(10), 1547-1563. doi: 10.1002/joc.1988
- Portela, M. M., Silva, A. T., & Melim, C. P. (2000). *O efeito da ocupação urbana nos caudais de ponta de cheias naturais em pequenas bacias hidrográficas* Paper presented at the V Congresso da Água, Lisboa.
- Probst, J. L., & Tardy, Y. (1985). Fluctuations Hydroclimatiques du Bassin D'Aquitaine au Cours des 70 Dernières Années. *Revue de Géographie Physique et de Géologie Dynamique*, 26(1), 59-76.
- Prudhomme, C., & Geneviev, M. (2011). Can atmospheric circulation be linked to flooding in Europe? *Hydrol. Process.*, 25(7), 1180-1190. doi: 10.1002/hyp.7879
- Prudhomme, C., & Reed, D. W. (1999). Mapping extreme rainfall in a mountainous region using geostatistical techniques: a case study in Scotland. *Int. J. Climatol.*, 19(12), 1337-1356. doi: 10.1002/(SICI)1097-0088(199910)19:12<1337::AID-JOC421>3.0.CO;2-G

## Q

- Quaresma, I. (2008). *Inventariação e análise de eventos hidro-geomorfológicos com carácter danoso em Portugal Continental*. (Tese de Mestrado), Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Quintela, A. C. (1996). *Hidrologia e Recursos Hídricos*. Lisboa: Instituto Superior Técnico.

## R

- Ramos, C. (1994). *Condições geomorfológicas e climáticas das cheias da Ribeira de Tera e do Rio Maior (bacia hidrográfica do Tejo)*. (Tese de doutoramento), Faculdade de Letras, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Ramos, C. (2005a). Os recursos hídricos. In C. A. Medeiros (Ed.), *Geografia de Portugal* (Vol. II, pp. 495). Lisboa: Círculo de Leitores.
- Ramos, C. (2005b). *Programa de Hidrogeografia*. Lisboa: Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa.
- Ramos, C. (2009). *Dinâmica Fluvial e Ordenamento do Território (Programa de unidade curricular do 2º Ciclo), Dinâmicas, mudanças ambientais e ordenamento do território*: Centro de Estudos Geográficos/Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Univ. de Lisboa.
- Ramos, C., & Reis, E. (2001). As cheias no sul de Portugal em diferentes tipos de bacias hidrográficas. *Finisterra*, XXXVI(71), 61-82.
- Raziei, T., Bordi, I., Santos, J. A., & Mofidi, A. (2013). Atmospheric circulation types and winter daily precipitation in Iran. *Int. J. Climatol.*, 33(9), 2232-2246. doi: 10.1002/joc.3596
- Reis, E. (2011). *Análise de bacias hidrográficas, susceptibilidade à ocorrência de cheias e Sistemas de Informação Geográfica: da definição do quadro conceptual até à proposta de um modelo de avaliação*. Paper presented at the VIII Congresso da Geografia Portuguesa: Repensar a Geografia para Novos Desafios, Lisboa.
- Reis, M. H., Griebeler, N. P., Sarmiento, P. H. L., Oliveira, L. F. C., & Oliveira, J. M. (2005). Espacialização de dados de precipitação e avaliação de interpoladores para projetos de

- drenagem agrícola no estado de Goiás e Distrito Federal. *Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, 229 - 236.
- Ribeiro, O. (1998). *Portugal o Mediterrâneo e o Atlântico*. Lisboa: Livraria Sá Costa Editora.
- Rodrigo, F. S. (2010). Changes in the probability of extreme daily precipitation observed from 1951 to 2002 in the Iberian Peninsula. *Int. J. Climatol.*, 30(10), 1512-1525. doi: 10.1002/joc.1987
- Rodrigo, F. S., & Trigo, R. M. (2007). Trends in daily rainfall in the Iberian Peninsula from 1951 to 2002. *Int. J. Climatol.*, 27, 513–529. doi: 10.1002/joc.1409
- Rodrigues, A. C. (2010). *Elaboração de orientações estratégicas de âmbito nacional: Recursos hídricos superficiais* (pp. 22). Lisboa: Comissão Nacional da Reserva Ecológica Nacional (CNREN).
- Rodrigues, M. R. B. (2009). *A Forma Urbana em Portugal Continental: Aplicação de Índices Quantitativos na Caracterização Morfológica das Cidades*. (Tese de Mestrado), Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Rosa, F. L. (2011). *Modelação estatística de caudais e de volumes de cheia em Portugal Continental: análises convencional e bivariada*. (Tese de Mestrado), Instituto Superior Técnico, Lisboa.

## S

- Salmi, T., Määttä, A., Anttila, P., Ruoho-Airola, T., & Amnell, T. (2002). *Detecting Trends of Annual Values of Atmospheric Pollutants by the Mann-Kendall Test and Sen's Slope Estimates – The Excel Template Application MAKESENS* (Vol. Publications on Air Quality ). Helsinki: Finnish Meteorological Institute.
- Sánchez-Lorenzo, A., & Martín-Vide, J. (2006). *Distribución espacial de la concentración pluviométrica diaria en la Península Ibérica Spatial distribution of the daily precipitation concentration in the Iberian Peninsula*. Paper presented at the 5ª Asamblea Hispano-Portuguesa de Geología y Geofísica Sevilla.
- Santos, J. A., Corte-Real, J., & Leite, S. M. (2005). Weather regimes and their connection to the winter rainfall in Portugal. *Int. J. Climatol.*, 25(1), 33-50. doi: 10.1002/joc.1101
- Santos, J. A., Corte-Real, J., Ulbrich, U., & Palutikof, J. (2007). European winter precipitation extremes and large-scale circulation: a coupled model and its scenarios. *Theor. Appl. Climatol.*, 87(1-4), 85-102. doi: 10.1007/s00704-005-0224-2
- Santos, J. A., Reis, M. A., Sousa, J., Leite, S. M., Correia, S., Janeira, M., & Fragoso, M. (2012). Cloud-to-ground lightning in Portugal: patterns and dynamical forcing. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12(3), 639-649. doi: 10.5194/nhess-12-639-2012
- Santos, M. (2009). *Precipitações extremas na área de Arcos de Valdevez: análise estatística e contrastes espaciais*. (Tese de Mestrado), Universidade do Porto, Porto.
- Santos, M., Bateira, C., Soares, L., & Hermenegildo, C. (2014). Hydro-geomorphologic GIS database in Northern Portugal, between 1865 and 2010: Temporal and spatial analysis. *International Journal of Disaster Risk Reduction*, 10, Part A(0), 143-152. doi: 10.1016/j.ijdrr.2014.08.003
- Santos, M., & Fragoso, M. (2013). Precipitation variability in Northern Portugal: data homogeneity assessment and trends in extreme precipitation indices. *Atmos. Res.*, 131, 34-45. doi: 10.1016/j.atmosres.2013.04.008
- Santos, M., Santos, J. A., & Fragoso, M. (2015). Historical damaging flood records for 1871–2011 in Northern Portugal and underlying atmospheric forcings. *Journal of Hydrology*, 530, 591-603. doi: 10.1016/j.jhydrol.2015.10.011

- Schanze, J. (2006). Flood risk management - A basic framework. In J. Schanze, E. Zeman, & J. Marsalek (Eds.), *Flood Risk Management: Hazards, Vulnerability and Mitigation Measures* (Vol. 67, pp. 1-20): Springer Netherlands.
- Schumm, S. A. (1956). Evolution of Drainage Systems & Slopes in Badlands at Perth Amboy, New Jersey. *Bulletin of the Geological Society of America*, 67, 597-646. doi: 10.1130/0016-7606(1956)67[597:EODSAS]2.0.CO;2
- Sen, P. K. (1968). Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *J. Am. Stat. Assoc.*, 63, 1379-1389. doi: 10.2307/2285891
- Shifteh Some'e, B., Ezani, A., & Tabari, H. (2012). Spatiotemporal trends and change point of precipitation in Iran. *Atmos. Res.*, 113(0), 1-12. doi: 10.1016/j.atmosres.2012.04.016
- Shreve, R. L. (1966). Statistical law of stream numbers. *J. Geology*, 74, 17-37.
- Silva, J., & Oliveira, M. (2001). *As cheias na parte portuguesa da Bacia Hidrográfica do Rio Douro*. Paper presented at the Proc II Congr Ibérico Sobre Planificação e Gestão da Água, 9-12 November 2000, Porto.
- Silva, J. P. (2014). Rio Este com menos betão e menor risco de cheias. *Correio do Minho*. Retrieved from <http://www.correiodominho.com/noticias.php?id=83096>
- Smirnov, N. (1939). Estimate of deviation between empirical distribution functions in two independent samples. *Bulletin of Moscow University*, 2(2), 3-16.
- Smith, K., & Ward, R. C. (1998). *Floods: Physical Processes and Human Impacts*. England: Wiley.
- SNIRH. (2010). Atlas da Água. from <http://geo.snirh.pt/AtlasAgua/>
- Soares, A. (2006). *Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente*. Lisboa: IST Press.
- Strahler, A. N. (1952). Hypsometric (area-altitude) analysis of erosional topology. *Geological Society of America Bulletin*, 63(11), 1117-1142. doi: 10.1130/0016-7606(1952)63[1117:HAAOET]2.0.CO;2.
- Strahler, A. N. (1957). Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions of the American Geophysical Union*, 38(6), 913-920. doi: 10.1029/TR038i006p00913

## T

- Tedim, F. R., A.; Campos, P. ; Carvalho, S.; Ramalheira, D. (2010). *Cem anos de história: A frequência e a intensidade das cheias do rio Tâmega na cidade de Amarante (Portugal) aumentaram ao longo do século XX?* Paper presented at the Actas do XII Colóquio Ibérico de Geografia, Porto.
- Teles, V. (2001). Riscos Naturais e Sociedade. Estudo de caso no concelho de Braga. *Territorium - Revista de Geografia Física aplicada ao Ordenamento do Território*, 8, 77-92.
- Teles, V., & Laranjeira, M. M. (2004). *Alterações da dinâmica biofísica decorrentes da recente expansão urbana no concelho de Braga*. Paper presented at the Actas do V Congresso da Geografia Portuguesa" Portugal: territórios e protagonistas Guimarães.
- Temez, J. R. (1978). Calculo hidrometeorológico de caudales maximos em pequenas cuencas naturales. (Vol. 12). Madrid: Ministério de Obras Publicas y Urbanismo (MOPU), Direccion General de Carreteras.
- Theil, H. (1950). A rank-invariant method of linear and polynomial regression analysis. I, II, III. *Nederl. Akad. Wetensch. Proc.*, 53, 386-392, 521-525, 1397-1412.
- Tollan, A. (2002). Land-use change and floods: what do we need most, research or management? *Water Sci. Technol.*, 45(8), 183-190.
- Trigo, R. M., & DaCamara, C. C. (2000). Circulation weather types and their influence on the precipitation regime in Portugal. *Int. J. Climatol.*, 20(13), 1559-1581. doi: doi: 10.1002/1097-0088(20001115)20:13<1559::aid-joc555>3.0.co;2-5
- Trigo, R. M., Valente, M. A., Trigo, I. F., Miranda, P. M. A., Ramos, A. M., Paredes, D., & García-Herrera, R. (2008). The Impact of North Atlantic Wind and Cyclone Trends on European

Precipitation and Significant Wave Height in the Atlantic. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 1146(1), 212-234. doi: 10.1196/annals.1446.014

## U

Uhlenbrook, S., Steinbrich, A., Tetzlaff, D., & Leibundgut, C. (2002). Regional analysis of the generation of extreme floods. In H. A. J. van Lanen & S. Demuth (Eds.), *FRIEND 2002 - Regional Hydrology: Bridging the Gap between Research and Practice* (pp. 243-249). Wallingford, Reino Unido: IAHS Press.

## V

Van Alphen, J., Bourger, L., Elliott, C., Fujita, K. I., Riedstra, D., Rooke, D., & Tachi, K. (2011). Flood risk management approaches: As being practiced in Japan, Netherlands, United Kingdom and United States. Rijkswaterstaat: IWR . USACE · Rijkswaterstaat · MLIT · Environment Agency.

Velhas, E. (1991). A Bacia Hidrográfica do Rio Leça Estudo Hidroclimatológico. *Revista da Faculdade de Letras, VH(I Série)*, 139 a 251.

Ventura, J. E. (1987). As gotas de ar frio e o regime de precipitação em Portugal *Finisterra*, XXII(43), 39-69.

Vicente-Serrano, S. M., Saz-Sánchez, M. A., & Cuadrat, J. M. (2003). Comparative analysis of interpolation methods in the middle Ebro Valley (Spain): application to annual precipitation and temperature. *Climate Res.*, 24(2), 161-180. doi: 10.3354/cr024161

Von Neumann, J. (1941). Distribution of the ratio of the mean square successive difference to the variance. *Ann. Math. Stat.*, 13, 367–395. doi: 10.1214/aoms/1177731677

## W

Whitfield, P. H. (2012). Floods in future climates: a review. *J. Flood Risk Manage.*, 5(4), 336-365. doi: 10.1111/j.1753-318X.2012.01150.x

Wijngaard, J. B., Klein Tank, A. M. G., & Können, G. P. (2003). Homogeneity of 20th century European daily temperature and precipitation series. *Int. J. Climatol.*, 23(6), 679-692. doi: 10.1002/joc.906

Wilby, R. L., & Quinn, N. W. (2013). Reconstructing multi-decadal variations in fluvial flood risk using atmospheric circulation patterns. *J. Hydrol.*, 487(0), 109-121. doi: 10.1016/j.jhydrol.2013.02.038

Wilhelmi, O. V., & Morss, R. E. (2013). Integrated analysis of societal vulnerability in an extreme precipitation event: A Fort Collins case study. *Environmental Science & Policy*, 26, 49-62. doi: 10.1016/j.envsci.2012.07.005

Wilks, D. S. (2011). *Statistical methods in the atmospheric sciences* (Vol. xvii): Academic Press.

Willmott, C. J. (1982). Some Comments on the Evaluation of Model Performance. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 63(11), 1309-1313. doi: 10.1175/1520-0477(1982)063<1309:SCOTEO>2.0.CO;2

Wilson, W. E., & Moore, J. E. (1998). *Glossary of Hydrology*. Alexandria, VA: Amer Geological Inst

Wong, M. C., Mok, H. Y., & Lee, T. C. (2011). Observed changes in extreme weather indices in Hong Kong. *Int. J. Climatol.*, 31(15), 2300-2311. doi: 10.1002/joc.2238

## X

- Xu, W., Zou, Y., Zhang, G., & Linderman, M. (2014). A comparison among spatial interpolation techniques for daily rainfall data in Sichuan Province, China. *Int. J. Climatol.*, n/a-n/a. doi: 10.1002/joc.4180

## Y

- Yue, S., Pilon, P., Phinney, B., & Cavadias, G. (2002). The influence of autocorrelation on the ability to detect trend in hydrological series. *Hydrol. Process.*, 16(9), 1807-1829. doi: 10.1002/hyp.1095

## Z

- Zêzere, J. L. (1997). *Movimentos de Vertente e Perigosidade Geomorfológica na Região a Norte de Lisboa*. (Tese de Doutoramento), Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Zêzere, J. L., Pereira, S., Tavares, A. O., Bateira, C., Trigo, R. M., Quaresma, I., Santos, P. P., Santos, M., & Verde, J. (2014). DISASTER: a GIS database on hydro-geomorphologic disasters in Portugal. *Nat. Hazards*, 1-30. doi: 10.1007/s11069-013-1018-y
- Zêzere, J. L., Vaz, T., Pereira, S., Marques, R., Oliveira, S., & Garcia, R. (2015). Rainfall thresholds for landslide activity in Portugal: a state of the art. *Environmental Earth Sciences.*, 73(6), 2917-2936. doi: 10.1007/s12665-014-3672-0
- Zhang, X., & Yang, F. (2004). *RClimDex (1.0) - User Manual*. Canada: Climate Research Branch Environment Canada.
- Zolina, O., Simmer, C., Kapala, A., Bachner, S., Gulev, S., & Maechel, H. (2008). Seasonally dependent changes of precipitation extremes over Germany since 1950 from a very dense observational network. *J. Geophys. Res.*, 113(D6), D06110. doi: 10.1029/2007jd008393

